



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVÁNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ

WELDING OF STEEL AUSTENITIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vladimír Šmarda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Vladimír Šmarda
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Svařování austenitických ocelí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dopravní systémy kapalin z korozivzdorných trubek se na JE Dukovany pohybují mezi 50 až 600 mm průměru. Práce řeší zvýšení efektivity svařování metoty TIG pomocí metody orbitálního svařování. Řešení zahrnuje případně využití horkého drátu, který výrazně zvyšuje výkon navaření.

Cíle bakalářské práce:

1. Rozbor současného stavu možností svařování korozivzdorných ocelí
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh a provedení experimentální práce
4. Vyhodnocení experimentu

Seznam doporučené literatury:

AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1vyd. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5.

OLSON D.L. a kolektiv autorů. ASM Handbook. Welding, brazing, and soldering Volume 6, vyd. Materials Park, Ohio, 2011. ISBN-13978-1-61503-133-7.

HRIVŇÁK, Ivan. Zváranie a zvariteľnosť materiálov. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009, 486 s. :il., čb. fot. ISBN 978-80-227-3167-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠMARDA Vladimír: Svařování austenitických ocelí.

Práce se zabývá svařováním austenitických ocelí používaných při potrubním vedení kapalin v JE Dukovany a vhodnou technologií svařování pro prováděné spoje. V úvodní části práce je provedeno rozdělení korozivzdorných ocelí. U austenitických ocelí jsou uvedeny jejich vlastnosti či vady při svařování. Dále práce popisuje běžně používané metody svařování MMA, MIG/MAG a metodu TIG, která tvoří největší podíl na zhotovení svarových spojů v JE. Část kapitoly je věnovaná progresivním metodám TIG jako je použití horkého drátu nebo orbitální svařování potrubních dílů. V experimentální části je řešen návrh metody a způsob provedení svařování spoje mezi dvěma komorami trubkového chladiče z austenitické oceli o jakosti materiálu 1.4571. Rozměr daného potrubního hrdla je DN 400. Jedná se o tupý svarový spoj ve tvaru „V“ s trvalou podložkou z vnitřní strany potrubí, který je svařován metodou TIG. Souborem ověřovacích zkoušek NDT doplněných o destruktivní zkoušky bylo prokázáno správné zvolení metody, způsobu provedení a přídatného materiálu. V části vyhodnocení experimentu byly shrnuty výsledky zkoušek a doporučeno zhotovení navrženého spoje k aplikaci v praxi.

Klíčová slova: Svařování, austenitická ocel, ochrana kořene svaru. TIG, NDT.

ABSTRACT

ŠMARDA Vladimír: Welding of austenitic steels.

This thesis deals with welding of austenitic steel, which used in pipelines for liquids in the Dukovany Nuclear Power Station, and suitable technology for welding of joints. Firstly, there is introduced the distinction between the types of stainless steel. Concerning the austenitic steel there are stated their features and defects during welding. Secondly, the bachelor thesis deals with commonly used welding method: MMA, MIG/MAG and TIG, which is most frequently used for weld joints in the Dukovany Nuclear Power Station. A part of the chapter is devoted to progressive TIG methods, such as: use of hot wire and orbital welding of pipelines. In the experimental part, there is solved a proposal for a method and a technique for weld joint between two chambers of tubular cooler. The dimension of the pipeline flange is according to DN 400. It is a butt weld in V-shape with permanent pad on the inside of the pipe, which is welded with TIG method. On the basis of the NDT verification test and also destructive testing, there was proved that the chosen method, technology and additional material were optimal. In the part of experiment evaluation, there were summarized all the results of the tests. Eventually, the suggested weld joint was recommended for realization.

Key words: welding, austenitic steel, protection of weld root, TIG, NDT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMARDA, Vladimír. *Svařování austenitických ocelí* Brno, 2019. 45 s, 13 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Račicích dne 23.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavovi Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji společnosti ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o. za technické zázemí a provedení svaření vzorku.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	10
1.1 Metody svařování austenitických ocelí.....	14
2 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG	19
2.1 Mechanizované svařování metodou TIG	26
2.2 Základní materiály	28
2.3 Přídavné materiály	29
3 EXPERIMENT SVAROVÉHO SPOJE DN 400.....	32
3.1 Zvolení základního materiálu	32
3.2 Návrh metody svařování a jejího způsobu.....	33
3.3 Kontrola základního materiálu.....	35
3.4 Zhotovení svarových ploch.....	37
3.5 Kontrola kvality svarových ploch.....	37
3.6 Svařování experimentálního vzorku	38
3.7 Zkoušky ověřovaného svarového spoje.....	39
4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	44
5 ZÁVĚRY	45
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	

ÚVOD [1], [2], [3]

V dnešní moderní době se žádný průmysl neobejde bez vyspělé techniky a nových technologických procesů. Přestože technický boom započal v minulém století, tak i v této době se lidstvo nadále snaží vyvíjet a zdokonalovat stávající technologie ve všech odvětvích průmyslu. Toto tvrzení platí i o jedné z částí strojírenské technologie, což je svařování. Tato technologie má velmi dlouhou historii. Počátky této technologie mají už tisíciletou historii v kovářském svařování. Proces svařování je jednou z nejvýznamnějších strojírenských technologií, která má rozhodující vliv na jakost mnoha výrobků, ať jsou to výrobky z automobilového průmyslu nebo také stavebního odvětví a v neposlední řadě v energetickém průmyslu.

Svařováním se zpracovává největší objem kovových i nekovových materiálů. Díly, které se vyrábí touto technologií jsou v dnešní době stále složitější, svařují se jak objemově velké svařence, tak i velmi malé výrobky z tenkostěnných polotovarů nebo materiály různých složení (pozinkovaný plech s plechy korozivzdorných ocelí). V energetickém průmyslu je technologie svařování nepostradatelná. Ve všech teplárnách a elektrárnách je mnoho spojů provedeno svařováním, a to jak u konstrukcí, tak i trubních tras a systémů pro dopravu médií. Potrubní systémy jsou zhotovovány z nízkouhlíkových ocelí a také z korozivzdorných austenitických ocelí. V těchto provozech jsou kladeny vysoké nároky na použití základního a přídatného materiálu a tím i nároky na kvalitu provedení svarového spoje.



Obr. 1 Jaderná elektrárna a svařování [2], [3]

1 ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ [4], [5], [6], [7], [8], [11], [12], [14], [15], [16], [17]

Tato práce se zabývá metodami provedení svarových spojů u korozivzdorného austenitického potrubí, které je používáno v jaderných elektrárnách (JE) pro dopravu médií spjatých s provozem reaktoru či příslušných zařízení. Jako problematické svarové spoje se jeví tzv. závěrné svary na potrubních systémech z austenitické oceli při opravách stávajících potrubních tras nebo nově instalovaných systémech. Experiment se zabývá návrhem metody a způsobem svařování jednoho takového spoje mezi komorami trubkového chladiče.

V současné době se v energetickém průmyslu používá hodně druhů materiálů pro instalaci potrubních tras určených k přepravě médií. Jedním z těchto materiálů je korozivzdorná ocel. Z pravidla je tento materiál určen pro potrubní systémy kyselin či primární vody v JE. Materiál odolává chemické a elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Tato schopnost je umožněna vysokým obsahem chromu více jak 12 % oproti obsahu uhlíku. Vysoký obsah chromu za bezpečí tzv. pasivaci materiálu. Dále tyto materiály mají nízký obsah uhlíku, a to zaručuje jejich dobrou svařitelnost. Pro vznik korozivzdorných ocelí jsou nejdůležitějšími legujícími prvky:

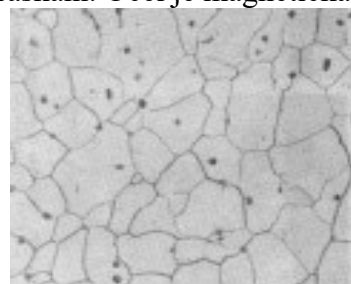
- austenitotvorných – rozšiřující oblast γ v rovnovážném diagramu:
uhlík (C), nikl (Ni), měď (Cu), mangan (Mn), dusík (N)
- feritotvorných – zužující oblast γ v rovnovážném diagramu:
chrom (Cr), molybden (Mo), křemík (Si), hliník (Al), wolfram (W), titan (Ti), niob (Nb), vanad (V).

Dále se tyto materiály dělí dle závislosti mikrostruktury a obsahu základních legur obsažených v materiálu na:

- martenzitické korozivzdorné oceli (obr. 2) – oceli s obsahem 18 % chromu a 1,5 % uhlíku. Po zakalení vykazují martenzitickou strukturu. Austenitizační teplota leží podle druhu oceli v rozmezí 950 – 1050 °C. Chrom (feritotvorný prvek) snižuje rychlost ochlazování, tudíž i na vzduchu se ocel zakaluje. Svařitelnost je horší než u ostatních korozivzdorných ocelí a zhoršuje se s rostoucím obsahem uhlíku. Nevýhodou tohoto typu ocele je křehnutí, které vzniká při ohřevu na teplotu 350 - 550 °C, a křehnutí způsobené vodíkem, které vzniká při moření nebo při tepelném zpracování v určitých atmosférách. Z těchto ocelí se vyrábí žiletky, lopatky parních turbín, trubky v energetickém a chemickém průmyslu. Tyto oceli mají odolnost proti kavitaci- jsou vhodné pro součásti čerpadel.
- feritické korozivzdorné oceli (obr. 3) – obsahují 13 - 30 % chromu a obsah uhlíku je pod 0,1 %. Nejsou kalitelné, jsou odolné vůči koroznímu praskání. Ocel je magnetická. Nevýhodou je náchylnost ke křehnutí za vysokých teplot okolo 900 °C. Nejsou vhodné u svařovaných konstrukcí, protože při svařování může dojít ke vzniku austenitu, který se při následném ochlazení přemění na martenzit a vede ke křehnutí vlivem hrubnutí zrna. Použití: zařízení v chemickém průmyslu např. sedla ventilů, výměňkové trubky, potrubí čerpadel, v ropném průmyslu jako nádrže a kolony.

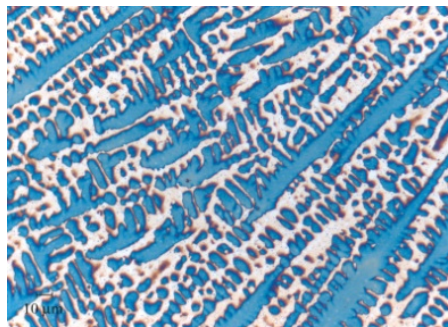


Obr. 2 Martenzitická ocel [17].



Obr. 3 Feritická ocel [17].

- austenitické korozivzdorné Cr-Ni oceli (obr. 4) - tento druh ocelí je specifický tím, že jeho struktura je tvořena z převážné části austenitem fáze γ doplněným z části také δ feritem. Aby bylo dosaženo austenitické struktury oceli, musí ocel obsahovat správný poměr austenitotvorných a feritotvorných prvků, to umožňuje oceli udržet si austenitickou strukturu při normálních, zvýšených i záporných teplotách. Základním typem je chrom-niklová austenitická ocel s 18 % chromu a 9 % niklu. Austenitické korozivzdorné oceli nepodléhají fázovým přeměnám a jsou nemagnetické. Pevnost lze zvyšovat pouze legováním (např. přísadou N) nebo u některých typů, které se vyznačují menší stabilitou austenitu, tvářením za studena (pěchování, tažení). Pokud jsou tyto oceli po tepelném zpracování nebo svařování pomalu ochlazovány, dochází v oblasti kritických teplot přibližně v rozmezí 600 – 800 °C k vylučování karbidů po hranicích zrn.



Obr. 4 Austenitická ocel [17]

Většina austenitických ocelí obsahuje uhlíku méně než 0,1 %, 16 – 22 % chromu, 8 – 40 % niklu, 0 – 5 % molybdenu. Tento typ ocelí má dobrou tažnost, houževnatost a velmi dobrou svařitelnost. Austenitické oceli se rozdělují do tří základních skupin:

- chrom manganové – složení prvků: 0,02 - 0,08 % uhlíku, 10 – 18 % chromu, 3 - 8 % niklu, 14 - 25 % manganu. U těchto ocelí je drahý nikl nahrazen manganem a dusíkem. Mangan a nikl má podobné vlastnosti, avšak mangan má nižší houževnatost, tvárnost a svařitelnost za studena. Menší odolnost proti korozi než u ocelí Cr-Ni.
- chrom mangan-niklové – složení prvků: 0,02 - 0,15 % uhlíku, 12 - 22 % chromu, 5 - 12 % manganu, 3 - 8 % niklu
- chrom niklové – složení prvků: 0,01 – 0,15 % uhlíku, 12 - 25 % chromu, 8 - 35 % niklu. Je to austenitická nestabilizovaná ocel. Nikl stabilizuje austenit i za normálních teplot. Jsou nemagnetické, mají vysokou tažnost a houževnatost.

Pro získání odhadu struktury korozivzdorné chrom-niklové oceli se používá Schaefflerův a De Longův diagram. Význam Schaefflerova diagramu spočívá v tom, že umožní posoudit, jaké strukturní změny vyvolá např. zředění svarového kovu základním materiálem a jaké změny je možné očekávat při svařování. Tento binární diagram ukazuje vlivy feritotvorných prvků ekvivalentem $\%Cr_E$ a austenitotvorných prvků ekvivalentem $\%Ni_E$ na výslednou strukturu oceli. Graficky znázorňuje vliv jednotlivých prvků na konečnou strukturu oceli.

Hodnoty ekvivalentů $\%Cr_E$ a $\%Ni_E$ jsou počítány podle vztahů:

$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb \quad [\%] \quad (1.1)$$

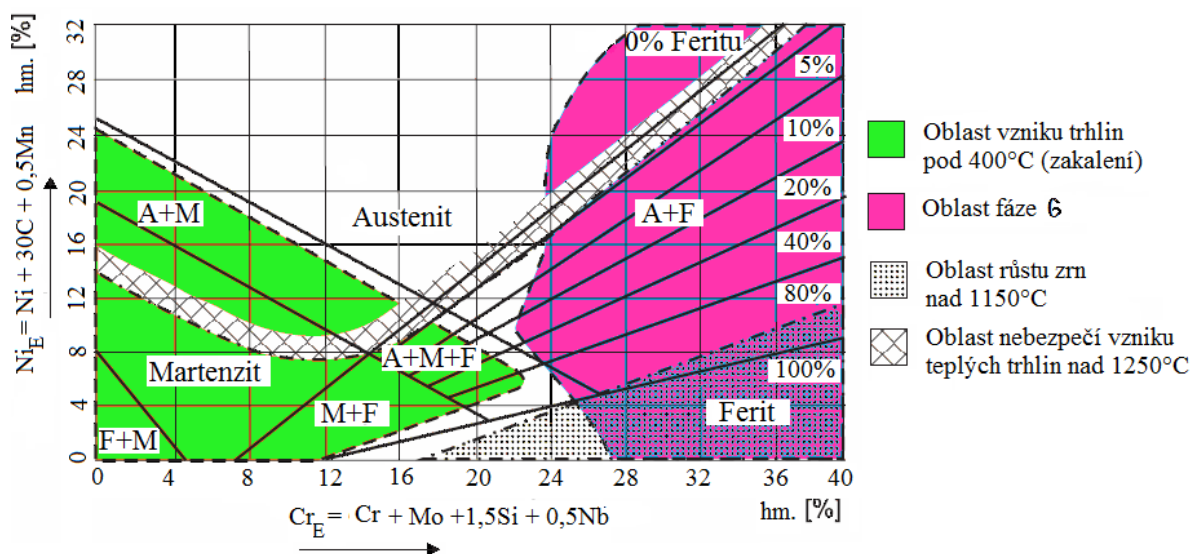
$$Ni_E = Ni + 30 C + 0,5Mn \quad [\%] \quad (1.2)$$

kde:

Cr_E – chromový ekvivalent $[\%]$

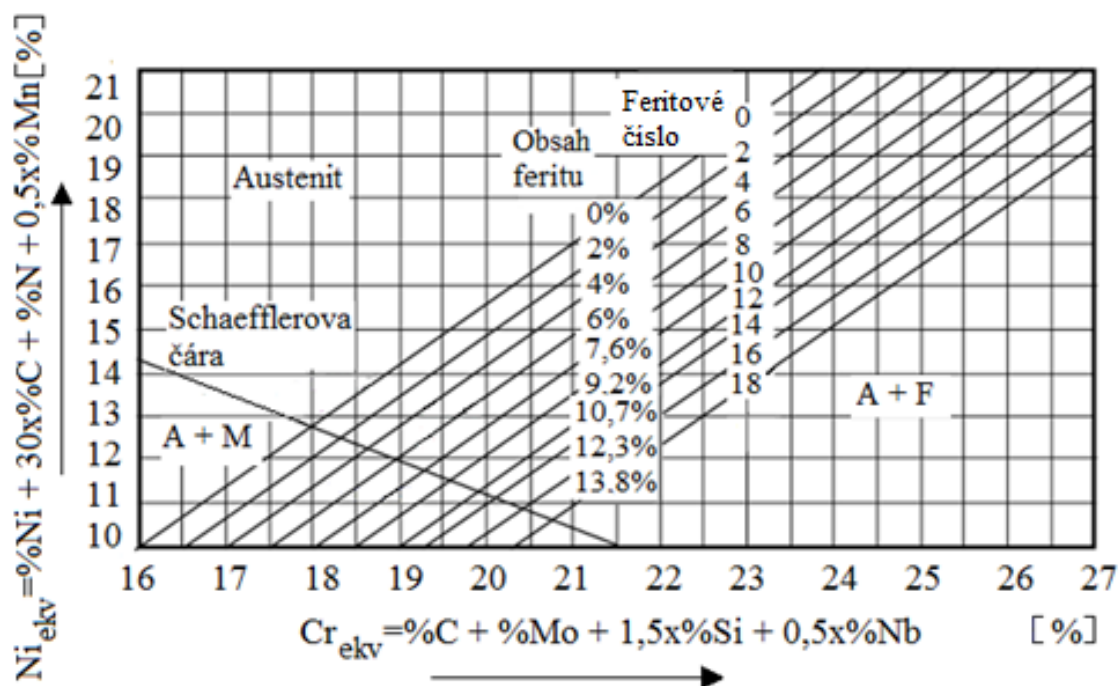
Ni_E – niklový ekvivalent $[\%]$

Pro odhad výsledné mikrostruktury svarového kovu Cr–Ni austenitické oceli s nízkým obsahem dusíku se používá také Schaefflerův strukturní diagram Cr – Ni (obr. 5).



Obr. 5 Schaefflerův strukturní diagram Cr–Ni [6]

De Longův diagram (obr. 6) upřesňuje Schaefflerův diagram. Je možné ho používat pro odhad výsledné mikrostruktury Cr–Ni austenitické oceli s obsahem dusíku. S velmi dobrou přesností určuje mikrostrukturu Cr–Ni austenitické oceli s obsahem feritu do 15 %. Není však vhodný pro určování mikrostruktur ocelí s vysokým obsahem manganu.



Obr. 6 De Longův diagram Cr–Ni ocelí [6], [7], [8], [9]

Austenitické oceli mají přibližně o 50 % větší tepelnou roztažnost a asi o 30 % nižší tepelnou vodivost než oceli feritické. Při provádění svarových spojů se to projeví vznikem větších deformací a napětí v porovnání s feritickou ocelí. Vzhledem k austenitické struktuře materiálu mají tyto oceli lepší tažnost a houževnatost než uhlíkové a nízkolegované oceli. Obsah chromu (Cr) je většinou větší jak 16,5 hm. % a to s dostatečným množstvím niklu (Ni) anebo manganu (Mn), uhlíku (C) a dusíku (N) pro vytvoření austenitické mikrostruktury.

Svařitelnost austenitických Cr-Ni ocelí je ovlivněna těmito hlavními faktory, jejichž vznik je nežádoucí:

- precipitace karbidů chromu – důsledkem je mezikrystalová koroze (MKK).
- tvorba teplých krystalizačních trhlin – vznikají při tuhnutí svarového kovu a pouze v něm, kdežto likvační a polygonizační trhliny mohou vzniknout na rozhraní svarového spoje a v úzkém okolí svarového spoje v tzv. tepelně ovlivněné oblasti (TOO). Příčinou vzniku teplých trhlin jsou prvky jako je síra (S), fosfor (P), křemík (Si) či titan (Ti), které při tuhnutí buď snižují plasticitu kovu v mezidendritických prostorách nebo vytváří se železem a niklem nízkotavitelná eutektika, která výrazně snižují technologickou pevnost hranic zrn. Rozhodujícím faktorem pro snížení náchylnosti austenitických ocelí k tvorbě teplých trhlin je obsah δ – feritu. Vyšší obsah jak 15 FN (Feritového čísla) vede ke snížení antikoročních vlastností a podporuje vznik sigma (σ) fáze.
- zkřehnutí vlivem sigma (σ) fáze – tato fáze je tvrdá křehká intermetalická sloučenina. Tato sloučenina je příčinou zkřehnutí ocelí s obsahem chromu, a tudíž i austenitických ocelí. Může vzniknout ve svarových spojích při teplotě 550 - 820 °C. Fáze sigma je stabilní do teploty 820 °C a nad touto teplotou přibližně při 825 °C se přemění na fázi alfa (α).

Fázi σ podporuje několik činitelů a jsou to zejména:

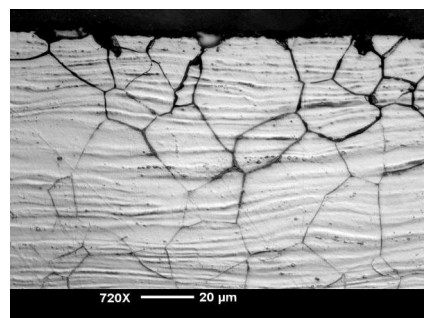
- feritotvorné prvky (Si, Al, Ti, Mo, Nb)
- karbidotvorné prvky (Ti, Zr, Nb, Ta)
- místní přesycení chromem při rychlém ochlazení
- intenzivní tváření za studena
- únava za tepla

Sigma fáze se projeví zejména při vyšších obsazích než 22 hm. % chromu a molybdenu.

Mezikrystalová koroze (obr. 7) – vzniká zejména v TOO základního materiálu. Hlavní příčinou MKK je vznik karbidů chromu a nitridů na rozhraní zrna austenitu. U austenitických ocelí nastává v pásmu 425 – 815 °C.

Teorie vzniku mezikrystalové koroze:

- teorie ochuzení – změna chemického složení tuhého roztoku na rozhraní zrn v okolí precipitátů. Vyloučením karbidů klesne obsah chromu v povrchové vrstvě na hranicích zrn tak, že tato vrstva přestává být schopná pasivace a podléhá korozi.
- teorie napětí – energetickými rozdíly v místech vylučování sekundární fáze. Vznikem velkého vnitřního pnutí jsou ve struktuře oceli iniciovány velké rozdíly energií a ty se projeví nedokonalou pasivací hranic zrn.
- teorie článku – rozpouštěním rozhraní zrn následkem vzniku místních článků.



Obr. 7 Mezikrystalová koroze [5]

Většinou ušlechtlejší karbid (nitrid) působí jako katoda a okolní méně ušlechtilý kov jako anoda. Na hranici karbid základní kov vzniká článek, v němž okolí karbidů (nitridů) značně koroduje.

Z těchto uvedených informací vyplývá, že základní příčinou vzniku mezikrystalové koroze je precipitace karbidů a nitridů chromu. Potlačením vzniku precipitace lze zvýšit odolnost austenitických ocelí proti mezikrystalové korozi. Potlačení je závislé na několika činitelích, které se dají rozdělit do čtyř základních skupin. Jedná se o:

- chemické složení ocelí
- dobu setrvání v oblasti kritických teplot
- stabilizaci oceli
- tepelné a mechanické zpracování

Korozivzdorné austenitické oceli lze spojit rozebíratelným spojem nebo spojem nerozebíratelným. Práce se zabývá pouze spojem nerozebíratelným, a to svařováním korozivzdorných ocelí austenitických, které jsou v energetickém průmyslu využívány pro výrobu potrubí, tlakových nádob či různého zařízení. Austenitické oceli se svařují přídavnými materiály s podobným či stejným chemickým složením. Pro svařování je možné použít všech známých metod svařování, které zajistí dokonalou ochranu svarového kovu.

1.1 Metody svařování austenitických ocelí [1], [5], [10], [16], [17], [19]

Proces svařování austenitických ocelí patří mezi nerozebíratelná spojení, které funguje na principu vytvoření termodynamických podmínek, při kterých vznikají nové meziatomové vazby. Je to také jediný způsob spojení dvou anebo více součástí do jednoho nerozebíratelného celku. Svarové spoje se vytváří metalurgickými pochody, kde dochází k lokálnímu roztavení základního a přídavného materiálu. Samotný svařovací proces probíhá tak, že do místa svaru přivedeme velké množství tepelné energie (elektrický oblouk, plasma, laser, plamen), které nám svařovaný materiál roztaví a vznikne svarová lázeň. Do svarové lázně je většinou přidáván přídavný materiál, který po smísení se základním materiálem vytvoří svarový kov spoje. Zde proběhne jeho spojení slitím svařovaného materiálu. Svařování se odlišuje od běžných metalurgických pochodů především tím, že se taví současně jak svarová plocha, tak i přídavný materiál. Dále se jedná o lokální ovlivnění, což vyvolá tepelnou nestejnorodost ve svařovaném dílu. Roztavený kov má tendenci reagovat s některými prvky atmosféry (dusík, kyslík). Reakce těchto plynů ve svaru je nežádoucí, a proto se jí snažíme zamezit použitím ochranných plynů strusek a tavidel. Druh ochrany volíme podle použité technologie svařování.

Svařitelnost základních kovových materiálů je jednou z nejdůležitějších technologických vlastností, které je nutné znát při řešení svarových spojů, a to obzvláště u korozivzdorných austenitických ocelí. Pod pojmem svařitelnost rozumíme kompletní charakteristiku materiálu, která za určitých technologických podmínek určuje technickou vhodnost a způsobilost materiálu vytvářet požadovaný kvalitní svarový spoj.

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit do dvou základních skupin, a to na metody tavného svařování a metody tlakového svařování. Rozdělení jednotlivých metod a jejich číselné označení je uvedeno v ČSN ISO 857. Číselné označení je dále používáno ve svařecích dokumentacích např. WPS. V energetickém průmyslu se zhotovují svarové spoje na potrubních systémech právě metodou tavného svařování. Metody, které se běžně v praxi používají pro svařování korozivzdorných materiálů využívají zákonitosti elektrického oblouku.

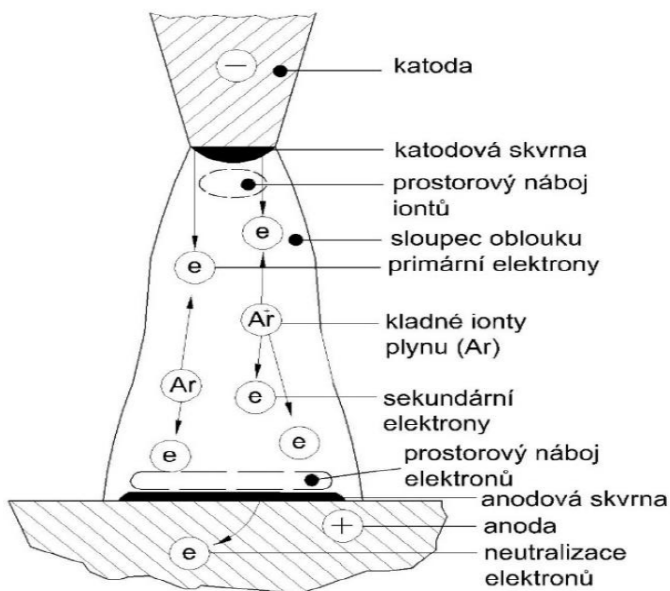
Při svařování se využívá elektrický oblouk k přeměně elektrické energie na tepelnou. Elektrický oblouk (obr. 8) využitelný ve svařování je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu.

Fyzikální a metalurgické děje probíhají v oblouku velmi rychle a za vysokých teplot. Tyto děje mají vliv na hoření oblouku a jsou ovlivňovány především těmito okolnostmi:

- a) chemickým složením plazmatu, materiálem elektrod a částečně okolní atmosférou
- b) geometrickým uspořádáním a tvarem elektrod
- c) tepelnou vodivostí plazmatu, elektrody a základního materiálu

Části elektrického oblouku:

- katodová skvrna – je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí
- sloupec oblouku – je zářivě svítící oblast disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy mezi elektrodami, která dosahuje vysokých teplot
- anodová skvrna – neutralizuje a odvádí dopadající záporné částice. Kinetická energie částic se mění na tepelnou a z části i na elektromagnetické záření. Pro obloukové svařování se používá několik druhů elektrod. Elektrody mohou být:
 - Netavené (uhlíkové, wolframové) elektrody – slouží jako prostředek k vytvoření oblouku a neposkytují svarový kov.
 - Tavné elektrody – mají většinou stejné složení jako svarový materiál, teplem oblouku se odtavují a dodávají do svaru přídatný kov.



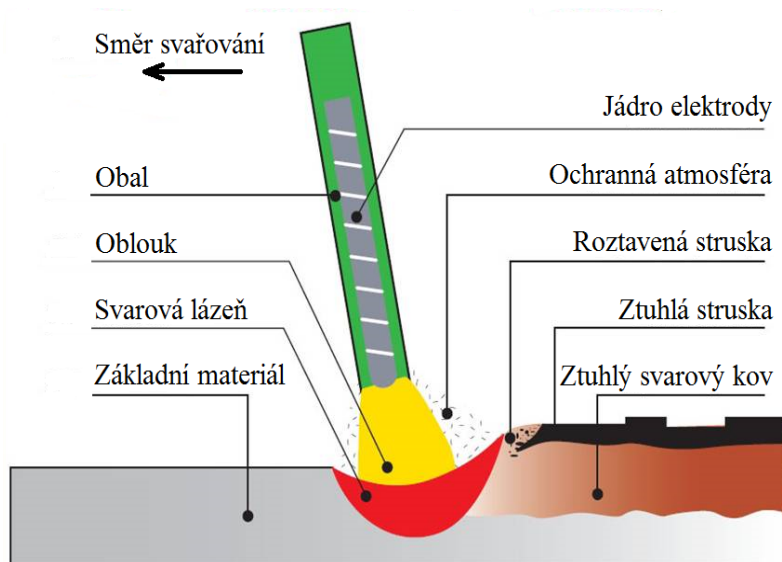
Obr. 8 Části elektrického oblouku [5]

Dále je možné rozdělit elektrody na:

- Holé (drát) – používají se při svařování v ochranné atmosféře, nebo pod tavidlem.
- Obalené – úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do svarové lázně některé přísadové prvky (Ni, Cr, Mo).

Metody tavného svařování, které využívají elektrického oblouku jsou uvedeny a označeny v ČSN EN ISO 4063. Některé z těchto metod svařování jsou v dnešní době nejčastěji používány pro realizaci svarových spojů na JE včetně výroby součástí a pro instalaci potrubních systémů z austenitických ocelí. Označení metod je založeno na číselném značení v podobě jedno, dvou a tříčíselné značky. V praxi se uvádí převážně jen značka tříčíselná definující konkrétní podskupinu metody svařování. Níže jsou uvedeny nejčastěji používané metody.

Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou MMA (111) – zdrojem tepla je elektrický oblouk, který hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem zapojenými na vhodný elektrický zdroj. Schéma metody je znázorněno na obrázku 9. Teplem elektrického oblouku dojde lokálnímu natavení a následnému spojení – svaření součástí. Při svařování se používá stejnosměrný nebo střídavý proud o intenzitě (30 až 500) [A], i více a napětí (10 až 70) [V].



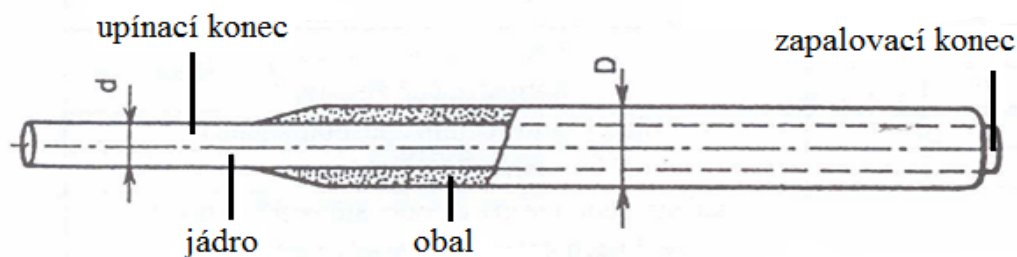
Obr. 9 Popis svařování obalenou elektrodou [16]

Zdrojem stejnosměrného proudu jsou točivé svařovací agregáty a zdrojem střídavého proudu jsou svařovací transformátory.

Teplem elektrického oblouku se taví svařovaný materiál, kovové jádro elektrody i její obal. Struska vytvořená z obalu chrání odtavované kapky kovu před škodlivými účinky vzduchu tím, že jednak kapky kovu obaluje, a jednak vytvoří plynovou clonu, která zabraňuje přístupu vzduchu ke kapkám kovu. Struska také zpomaluje rychlost

ochlazování, eliminuje vznik teplotních pnutí a s tím spojených deformací materiálu. Svařuje se nejčastěji ručně ve všech polohách, protože oblouk má na tavnou část přímý vliv.

Pro ruční svařování elektrickým obloukem se jako přídavné materiály používají obalené elektrody (obr. 10). Tyto se skládají z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,2 mm, 4,0 mm, 5,0 mm a 6,0 mm.



Obr. 10 Elektroda pro ruční svařování [16]

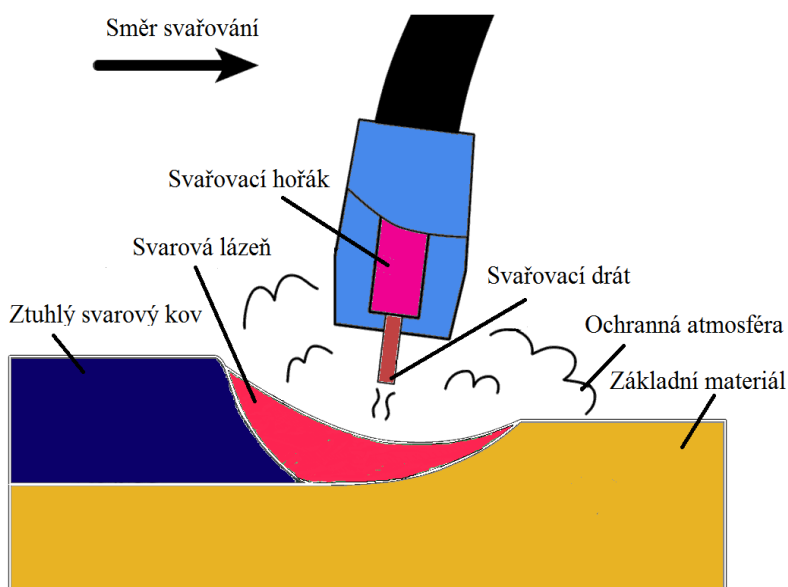
Tato metoda svařování je v dnešní době u svařování korozivzdorných austenitických ocelí v energetickém průmyslu na ústupu. Byť je tato metoda poměrně jednoduchá je nutné mít velmi zručný a kvalifikovaný personál. Metoda MMA je používána pro svařování potrubních tras z nízkolegovaných ocelí, a to většinou v kombinaci s metodou TIG, kde je touto metodou vyhotovena kořenová vrstva a následně je použita právě metoda MMA k vyhotovení vrstvy výplně a krycí vrstvy svarového spoje.

Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu metodou MIG/MAG (131/135) - metoda je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního plynu vyobrazeno na obrázku 11. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Okolo svařovacího drátu a roztavené lázně proudí ochranný plyn, který chrání svarovou lázeň a zároveň napomáhá zapálení a stabilizaci elektrického oblouku. Svařovací drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku nebo kombinací obou systémů z cívky o běžné hmotnosti 15 kg. Vzhledem k tomu, že je podávání svařovacího drátu a regulace průtoku ochranného plynu mechanizována, není tato metoda příliš náročná na zručnost svařeče. Největší uplatnění má tato metoda u ručního a mechanizovaného způsobu svařování v celém průmyslu.

Oproti svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou má tato metoda několik výhod:

- minimální tvorba strusky
- přímá vizuální kontrola svarového spoje (lázně)
- vysoká efektivita, úspory nedopalků tzv. nekonečným drátem
- malá tepelně ovlivněná oblast základního materiálu
- snadný start oblouku

Podle použitého ochranného plynu a podle elektrody rozlišujeme i způsoby obloukového svařování v ochranném plynu:



Obr. 11 Schéma metody MIG/MAG [16]

- Svařování v ochranné atmosféře oxidu uhličitého tavnou elektrodou – metoda MAG – Metal Aktiv Gas. Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou – holým drátem o průměru 0,8 až 2,4mm svařovaným materiálem v aktivní atmosféře oxidu uhličitého nebo směsi oxidu uhličitého, argonu a kyslíku. Metoda MAG se používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysokolegovaných ocelí a k navařování oceli.

- Svařování v ochranné atmosféře argonu tavnou elektrodou – metoda MIG – Metal Inert Gas. Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou – holým drátem o průměru 0,8 až 2 mm a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu argonu nebo hélia, případně jejich směsi. Svařuje se opět stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody poloautomatickým nebo automatickým režimem. Touto metodou MIG lze svařovat materiály z hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů.

Jak už bylo výše zmíněno, tato metoda svařování používá plyn k zamezení přístupu vzdušného kyslíku k elektrodě a k ochraně svarové lázně. Plyn také vytváří příznivé podmínky k přenosu kovu v oblouku a k celkovému procesu svařování. Nejčastěji používané technické plyny k svařování a jejich různé směsi jsou uvedeny v ČSN EN 439.

V současné době se používají tyto plyny:

- inertní plyny – Argon (Ar), Helium (He) a jejich směs pro svařování metodou MIG
- oxidační plyny – Ar + oxid uhličitý (CO₂), Ar + kyslík (O₂), Ar + CO₂ + O₂, Ar + He + CO₂+O₂ – pro svařování metodou MAG
- redukční plyny – Ar + H₂, N₂ + H₂
- oxidační plyny – CO₂, CO₂ + O₂
- nereagující plyny – N₂

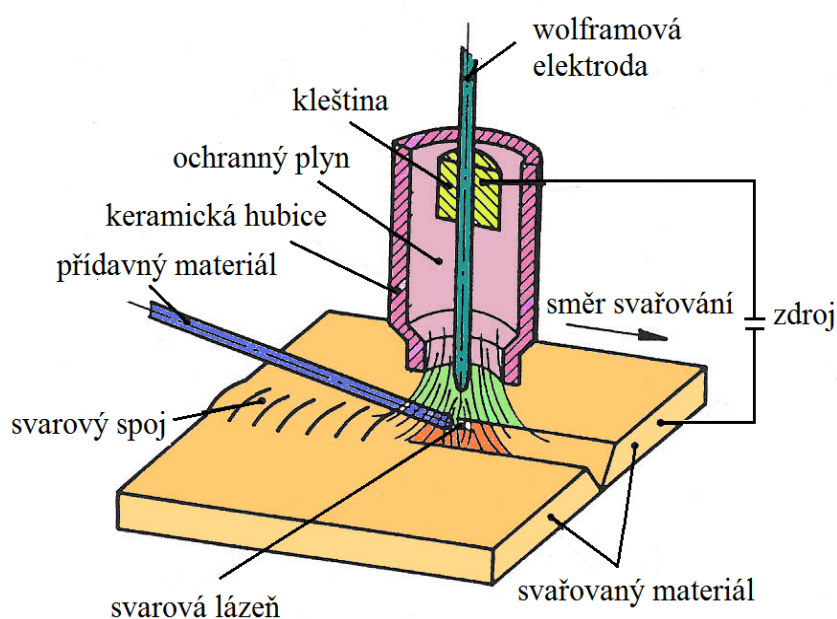
Touto metodou svařování jsou v energetickém průmyslu a JE ručně svařovány různé konstrukce nebo komponenty konstrukčního rázu. Velké uplatnění má ve výrobě zařízení a dílů ve výrobních závodech, kde je možné provádět sériovou výrobu. Metoda je v dnešní době snadno mechanizovaná a využívána pro výrobu armatur či návarů sedel a klínů. Pro svařování trubního vedení z austenitických ocelí tato metoda není využívána v jaderné energetice.

Dále v této práci je podrobně popsána metoda svařování, která má největší podíl na svařecích pracích a na montáži potrubních dílů či systémů v JE. Další metodou pro svařování, která se využívá je svařování netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře plynu. Metodou je možné spojovat velikou škálu základních materiálů včetně uváděných korozivzdorných austenitických ocelí. Tato metoda je podrobněji popsána v dalších částech této práce, a to jak z pohledu výhod či nevýhod jejího použití. Dále jsou uvedeny příklady, jakým způsobem lze tuto metodu aplikovat v praxi. Jedná o se metodu, kterou v dnešní době lze mechanizovat nebo i automatizovat.

2 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG [4], [5], [10], [11], [20], [21], [26], [27], [34]

Svařování v ochranné atmosféře plynu netavící se elektrodou, metodou TIG (141), je jednou z nejvýznamnějších strojírenských technologií na JE, která má zásadní vliv na kvalitu řadu výrobků a potrubních systémů používaných k dopravě různých médií. Lze ho také považovat za zvláštní proces dle EN ISO 9001, při kterém nelze zcela zjistit jakost po skončení procesu konečnou inspekci, ale požadovaná jakost musí být sledována již před zahájením procesu, a hlavně v celém jeho průběhu svařování.

Tato metoda svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (obr. 12) se označuje dle české normy ČSN EN 24 063: v anglosaských zemích TIG



Obr. 12 Popis svařování metody TIG [11]

(Tungsten-Inert-Gas), v německých zemích WIG (Wolfram-Inert-Gas) a v amerických zemích GTAW (Gas-Tungsten-Arc-Welding). Je to tedy metoda svařování elektrickým obloukem za pomoci netavící se elektrody a ochranné atmosféry inertního (netečného) plynu. Při této svařovací metodě hoří elektrický oblouk mezi netavící se elektrodou a základním svařovaným materiálem, přičemž je svarová lázeň, elektroda a nejbližší okolí svaru chráněno inertním plynem

před účinky okolní atmosféry hlavně kyslíku a dusíku ze vzduchu. Protože se elektroda nemá odtavovat, musí být vyrobena z materiálu, který odolává velmi vysokým teplotám. Tuto podmínku splňuje wolframová elektroda, která je pomocí kleštiny upnuta v hlavici TIG hořáku. Pomocí kleštiny je do elektrody přenášen také svařovací proud. Hořák je dále opatřen hubicí, kterou ven proudí plyn vytvářející v místě svařování inertní (netečnou) ochrannou atmosféru, která usnadňuje zapalování oblouku. Svařování může být provedeno buď pouze roztavením a slitím základních materiálů dohromady (bez použití přídavného materiálu) nebo přidáním přídavného materiálu v podobě svařovacích kovových tyčinek (drátů) podobného složení jako má základní materiál.

Parametry svařování u metody TIG jsou veličiny, které je nutné určit při tvorbě svařecí dokumentace WPS v souvislosti s předpisy a normami, které podmiňují jakost svarových spojů. Celý tepelný režim při svařování je daný třemi základními parametry:

- velikostí svařovacího proudu. – volí se podle síly svařovaného materiálu, tepelné vodivosti, podle typu spoje, polohy svařování a svařovací rychlosti
- velikostí napětí na oblouku – závisí na délce oblouku
- rychlosti svařování – závisí na intenzitě svařovacího proudu a na jeho druhu

Dále mezi doplňkové parametry a technologické podmínky svařování patří:

- chemické složení a průměr netavící se elektrody
- vyložení a vrcholový úhel elektrody
- průměr přídavného drátu a jiné.

Výhody TIG svařování - asi nejvýraznější výhodou metody je výborná kontrola nad svarovou lázní. TIG je zkratka precizní metoda. Tím, že na rozdíl od jiných metod svařování elektrickým obloukem, nedochází k neustálému přísunu přídavného materiálu do lázně, může svařeč daleko lépe ovlivňovat svarovou lázeň a tím i vlastnosti svarového spoje. Přídavný materiál si svařeč do lázně přidává dle potřeby. Metodou TIG lze také svařovat zcela bez přídavného materiálu (např. roztavením lemu u lemového spoje), což je z metalurgického hlediska nejlepší, protože svarový kov má na 100 % shodné chemické složení se základním materiálem. Nedochází tedy k zavlečení jiných prvků do svarového kovu. Někdy je dokonce možné jako přídavný materiál použít odštížek nebo úlomek ze základního materiálu. To nám opět zaručí 100 % shodu svarového kovu a základního materiálu. U svařování obalenou elektrodou nebo MIG/MAG toto prostě není možné.

Z dalších pozitivních vlastností můžeme jmenovat příznivé tvarování svarové housenky na povrchu i v kořeni a dobré operativní vlastnosti metody TIG v polohách. Zajímavá je také možnost svařování velice tenkých materiálů. Při TIG svařování je totiž možné používat velmi malé proudy (od jednotek ampér) a z toho vyplývá možnost svařování opravdu velmi tenkých materiálů. V extrémních případech lze při použití speciálních zdrojů a hořáků svařovat i kovové fólie či šperky proudy menšími než 1 ampér.

Nevýhody TIG svařování - vysoká technická náročnost na svařovací zařízení je jedna z hlavních nevýhod, zejména při svařování střídavým proudem. Zařízení pro TIG svařování jsou obecně komplikovanější a dražší než svařečky pro jiné běžné metody svařování. To platí zejména pro svařečky umožňující svařovat metodou TIG AC (střídavým proudem), které jsou dosti složité, mají velký počet regulačních prvků a jsou tedy i dosti drahé. Ovšem díky jejich stále masivnějšímu nasazování a všeobecnému poklesu cen elektroniky i jejich cena nezadržitelně klesá.

Zásadnější nevýhodou je ale malá produktivita. Zejména ruční svařování metodou TIG je prostě pomalé. Je to dáno hlavně touto precizností, která je v předešlé části vyzdvihnutá jako hlavní přednost metody. Proto se ruční svařování TIG nehodí na velkosériovou výrobu relativně jednoduchých svařenců, ale spíše na tvarově složité konstrukce z ušlechtilých materiálů. V některých případech, jako je svařování potrubí, se metodou TIG svařují jen kořenové vrstvy, u kterých velmi záleží na kvalitě. Výplňové a krycí vrstvy se pak dělají efektivnějšími metodami svařování (MMA, MIG/MAG). Malou produktivitu lze sice odstranit mechanizací či automatizací. Ovšem v případě metody TIG je to o trochu složitější než u metody MIG/MAG, ale není to nemožné a běžně se to v průmyslu používá.

Druhy wolframových elektrod – wolframové elektrody pro TIG svařování lze rozdělit podle příměsí (legur). Kromě nelegované elektrody z čistého Wolframu se používají elektrody legované oxidy Thoria, Lanthanu, Ceria a Zirkonu. Klasifikace wolframových elektrod je definována normou ČSN EN ISO 6848 a je založena na jejich chemickém složení. Každá wolframová elektroda je vždy nejprve označena písmenem W, za kterým následuje chemické označení hlavního přísadového oxidu a dále pak číslice udávající hmotnostní % přísady oxidu násobené deseti.

Pokud není do wolframu přidána žádná přísada, je taková elektroda označena písmeny WP (Pure = čistý). Aby byly elektrody mezi sebou dobře rozlišitelné, používá se na jednom jejich konci barevné značení (obr. 13) široké nejméně 3 mm, případně mohou být elektrody v blízkosti jednoho konce označeny klasifikačními značkami. V případě použití elektrody

s chemickým složením nedefinovaným normou, je taková elektroda označena písmeny WG, za nimiž následuje chemická značka a číslice udávající množství hlavního přísadového oxidu.

Přiřazení barev a označení k jednotlivým typům wolframových elektrod je znázorněno v následující tabulce 1.

Tab.1 Označení wolframových elektrod. [11], [20]

Označení elektrod	Barva	Legování	Použití	Proud
WP	zelená	čistý wolfram 99,8%	Hliník	~
WT 10	žlutá	thorium 1% ThO ₂	Nerez	=
WT 20	červená	thorium 2% ThO ₂	Nerez	=
WT 30	fialová	thorium 3% ThO ₂	Nerez	=
WT 40	oranžová	thorium 4% ThO ₂	Nerez	=
WC 20	šedá	cerium 2,0% CeO ₂	Univerzální	=/~
WL 10	černá	lanthan 1,0% LaO ₂	Univerzální	=/~
WL 15	zlatá	lanthan 1,5 % LaO ₂	Univerzální	=/~
WL 20	modrá	lanthan 2,0% LaO ₂	Univerzální	=/~
WZ 08	bílá	zirkon 0,8% ZrO ₂	Univerzální	~

WP – čistý wolfram. Elektroda je vhodná pro svařování slitin hliníku střídavým proudem. Zde vyniká dobrou stabilitou oblouku. Naopak nevhodná je pro svařování stejnosměrným proudem. Jako jediná se WP elektroda nebrousí do špičky.

WT – obsah thoria způsobuje snížení výstupní práce a zvýšení emise elektronů. Se stoupajícím obsahem thoria se zlepšuje:

- zapalovací vlastnosti
- trvanlivost
- proudová zatížitelnost

Hlavní použití těchto elektrod je při svařování vysoce legovaných a nerezových ocelí stejnosměrným proudem, kde vykazují výborné vlastnosti. Thorium je ale radioaktivní prvek. Nebezpečí thoriovaných elektrod není v záření gama, ale v záření alfa. Radioaktivní částice se usazují v plicích a v nejhorším případě mohou způsobit rakovinu.

WC – cerované elektrody jsou univerzální pro téměř všechna použití. Lze je použít pro svařování stejnosměrným i střídavým proudem. Cerované elektrody jsou vhodné pro svařování nelegovaných i legovaných ocelí, slitin hliníku, slitin titanu, niklu, mědi a hořčíku. WC elektrody mají svařecí vlastnosti podobné jako WT elektrody: velmi dobré zapalovací vlastnosti – i při teplé elektrodě, dobrá trvanlivost a proudová zatížitelnost. Podstatně méně však zatěžují životní prostředí a zdraví svařeče.

WL – lanthanované elektrody jsou stejně jako WC elektrody univerzální pro téměř všechna použití při svařování střídavým i stejnosměrným proudem. Lathanované elektrody předstihují cerované zejména v oblasti nízkých proudů. Jsou tak vhodné i pro svařování plasmou

a mikroplasmou. Vyšší podíl lathanu usnadňuje zapalování, zejména při automatizovaném svařování (orbitální, robotické, polohovací stoly aj.).

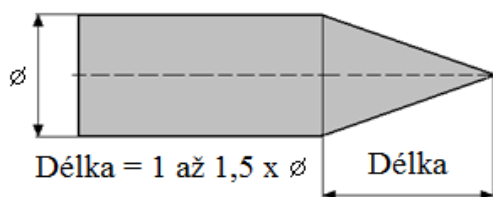
WZ – obsah zirkonu minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Použití je hlavně pro střídavý proud, a tedy pro svařování hliníkových materiálů jako náhrada WP elektrod. Pro stejnosměrný proud je lze použít jen podmíněně.

Obecně se dnes používají jako standardy elektrody WC 20 (šedá) a WL 15 (zlatá). Tyto typy pokrývají široký okruh materiálů jako je: hliník, nerez, uhlíková ocel, bronz, titan, měď aj. Wolframové elektrody se běžně vyrábějí v těchto průměrech: 1,0 mm, 1,6 mm, 2,0 mm, 2,4 mm, 3,2 mm, 4,0 mm, 4,8 mm, 6,0 mm a 6,4 mm a standardně vyráběné délky jsou: 50 mm, 75 mm, 150 mm a 175 mm.



Obr. 13 Wolframové elektrody [21]

Broušení wolframových elektrod- tvar konce elektrody ovlivňuje podstatným způsobem průběh svařování a kvalitu svaru. Elektrody se brousí do špičky. Délka špičky má být asi



Obr. 14 Špička elektrody [21]

1 – 1,5 násobek průměru (obráz. 14). Špička elektrody má být po broušení otupena tak, aby průměr otupení špičky byl cca 10 % průměru elektrody (elektroda průměr 2,4 mm). Otupení způsobí významné snížení zatížení špičky a tím zřetelné prodloužení životnosti. Před broušením je nutno zkontrolovat, aby konec elektrody nebyl nalomeno nebo naříznut.

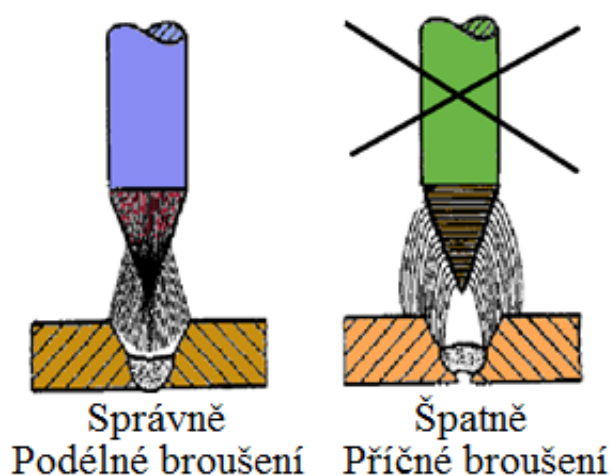
Mezní pevnost zrna elektrody je totiž menší než pevnost jednotlivých krystalů. Elektrody mají proto sklon uvolňovat se při mechanickém namáhání podél zrn. Vysoké zahřátí při svařování pak způsobuje tvoření trhlin ve špičce. Broušení elektrod musí probíhat nanejvýš opatrně, aby se zabránilo poškození hranic zrn mechanickou silou. Ideální je použití speciální brusky na wolframové elektrody (obráz. 15). Broušení se musí provádět jen lehkým tlakem, protože při velké tvorbě tepla může dojít rovněž k napětí v zrnech a poškození hranic zrn. Ruční broušení je nevhodné. Je nutné používat brusný kotouč s co nejjemnějším zrnem. Nejlepší je diamantový kotouč s kovovou nebo umělohmotnou texturou.



Obr. 15 Bruska elektrod [21]

Čím je jemnější broušení, tím je vyšší životnost elektrody. Je sice dost drahá, ale pro specializovaná svařecí pracoviště se vyplatí. Při příčném broušení způsobují rýhy nestabilní oblouk a vylamování částíček wolframu, které se potom mohou dostat

do lázně. Nehledě na to, že při příčném broušení bychom elektrodu snadno zlomili. Elektrodu je nutné při broušení otáčet velmi pomalu brousit elektrodu podélně tak, aby vrypy po broušení byly rovnoběžně s podélnou osou elektrody. Vliv směru broušení ukazuje následující obrázek 16. Je třeba dbát na to, aby elektrody byly v pravidelných intervalech pečlivě přebroušeny, a to už před jejich opotřebením. V žádném případě se nesmí čekat na to, až se kvalita svaru nebo zapalovací vlastnosti viditelně zhorší. Okamžité přebroušení je také nutné v případě dotyku elektrody s tavnou lázní.



Obr. 16 Vliv broušení na oblouk [21]

Doporučené rozsahy proudu v závislosti na průměru elektrody - následující tabulka 2 zobrazuje, jaké rozsahy proudu můžeme použít pro wolframové elektrody různých průměrů. Tabulka je sestavena zvláště pro elektrody z čistého wolframu (WP) a pro legované elektrody (WT, WL). Dále je zohledněn druh proudu (AC/DC) a v případě stejnosměrného proudu také polarita (přímá/nepřímá):

Tab.2 Doporučené proudy v závislosti na průměru elektrody [21].

Průměr elektrody [mm]	Stejnosemřný proud (DC)[A]				Střídavý proud (AC)[A]	
	Elektroda záporná -		Elektroda kladná +			
	WP	WT,WL	WP	WT,WL	WP	WT, WT
1.0	10 - 75	10 - 75	-	-	15 - 55	15 - 70
1.6	45 - 130	60 - 150	10 - 20	10 - 20	45 - 90	60 - 125
2,0	75 - 180	100 - 200	15 - 25	15 - 25	65 - 125	85 - 160
2.5	130 - 230	170 - 250	17 - 30	17 - 30	80 - 140	100 - 210
3.2	160 - 310	225 - 330	20 - 35	20 - 35	150 - 190	150 - 250
4.0	275 - 450	350 - 480	35 - 50	35 - 50	180 - 260	240 - 350
5,0	400 - 625	500 - 675	50 - 70	50 - 70	240 - 350	350 - 460
6.3	550 - 875	650 - 950	65 - 100	65 - 100	300 - 450	430 - 575

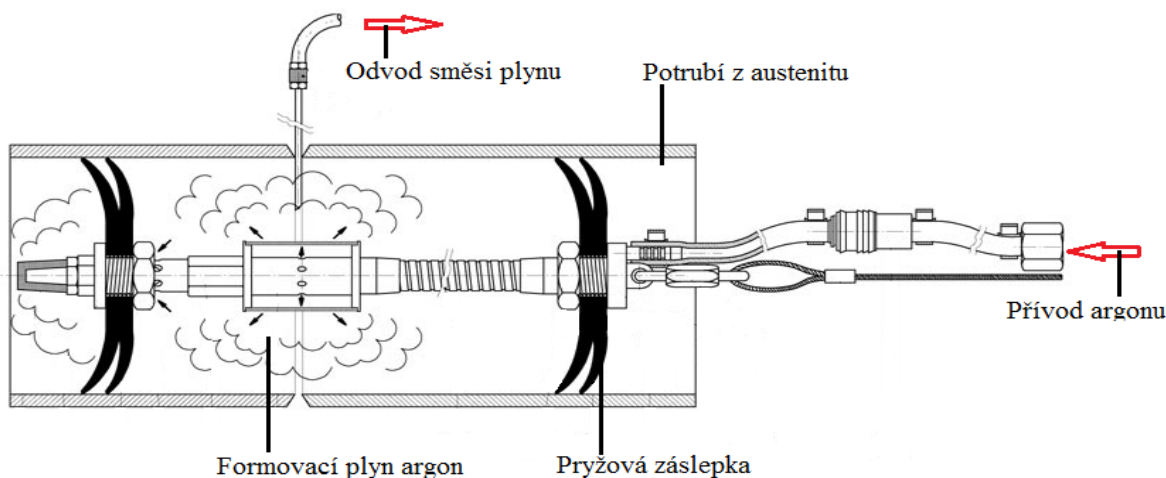
Ochranné plyny - proti účinkům oxidace je wolframová elektroda, tavná lázeň a přilehlý okolní materiál chráněn ochranou inertního plynu. Zároveň má plyn vliv na tepelný výkon svařovacího oblouku, jeho zapálení a stabilitu po celý čas svařovacího procesu. Dnes se používají dva základní plyny, argon a helium nebo jejich směsi v určitém poměru.

Argon (Ar) je jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu, který je inertní a nevytváří se žádným prvkem chemické sloučeniny. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku je 185,8 °C. Ve vzduchu je argonu 0,934 %. Argon má malou tepelnou vodivost a nízký izolační potenciál. Z těchto důvodů se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot. Hustota argonu je 1,784 kg.m⁻³ je tedy asi 1,4krát těžší než vzduch, a to přispívá k efektivnosti a velmi dobré schopnosti plynové ochrany především v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se He vyskytuje v množství kolem 1 %. Helium je velmi lehký plyn s hustotou 0,178 kg.m³ a tato skutečnost snižuje efektivitu plynové ochrany, a proto vyžaduje pro dokonalou ochranu svaru vyšší průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou min. 99,996 % (4.6) s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry od 5 do 20 ppm (tato hodnota ppm je deseti tisícina procenta). Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon Ionizační potenciál helia 24,6 eV je také vyšší než u argonu, a proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce oblouku.

Formovací plyny - u austenitických ocelí je důležité dobře ochránit kořenovou stranu tupých spojů. Provádí se běžně zafoukání kořenové strany dusíkem s příměsí vodíku cca 10 %. U ocelí stabilizovaných titanem se z důvodů nebezpečí vzniku nitridu titanu používá na zafoukání argon nebo argon-vodíková směs. Pokud se svařuje na kořenovou mezeru, je dobré kontrolovat obsah kyslíku v oblasti kořene svaru kyslíkovou sondou a v okolí svařování kořenovou mezeru utěsnit proti úniku ochranné atmosféry.

Při svařování trubek nebo dutých těles ve svislé poloze se musí formovací plyn těžší než vzduch – Ar přivádět do spodní části svařovaného úseku, aby tvořící se plynový válec vytěsnil vzduch bez promísení směrem nahoru. Ze stejného důvodu se v případě lehčího plynu – dusík a vodík, nebo helium přivádí plyn do horní části a vytlačuje vzduch spodem. Utěsnění hrdel či prostorů v okolí svarových spojů uvnitř potrubních částí se provádí speciálními přípravky znázorněné na obrázku 17.



Obr. 17 Souprava pro utěsnění vnitřního prostoru svaru [27]

V běžné praxi svařování austenitických potrubních tras se používají soupravy pro utěsnění vnitřních částí potrubí, které jsou různé pro dané průměry potrubních tras. Instalace umožňuje kvalitní ochranu kořene svaru a také i snížení nákladů na svařování vzhledem použití menšího množství plynu. V neposlední řadě lze zkrátit čas pro výměnu koncentrace plynu uvnitř potrubí. Příklady souprav jsou uvedeny na obrázcích 18 a 19.



Obr. 18 Souprava DN 200 mm



Obr. 19 Různé rozměry sad [34]

Vodorozpustný papír pro svařování potrubí v ochranném plynu – Dalším způsobem, jak provést utěsnění vnitřních prostor k ochraně kořene je použití vodou rozpustných papírů. Tento systém utěsnění vnitřních prostor potrubí nabízí možnost provádět utěsnění bez pevných záslepek a v případě závěrných svarových spojů je to jedna z posledních možností, jak provést utěsnění ochranného plynu. Pevné záslepky musí být umístěny tak, aby se daly po zavaření spoje vyjmout, a to je v některých případech daleko od svarové zóny, což zvyšuje zbytečné náklady na svařovací proces.

Vodou rozpustný papír je vyroben z karboxy-methylcelulózy a dřevěné buničiny. V celku se rychle rozpouští beze zbytku ve většině tekutin, včetně vody. Není však rozpustný v tucích a olejích. Velice dobře slouží ke konstrukci těsnění pro formování kořene a účinně eliminuje nevýhody klasických těsnění, poskytuje tak vynikající bariéru a uspoří vzácné plyny, jako je argon a hélium. Je 100 % biologicky rozložitelný a nezanechává žádné zbytky v potrubí. Papír lze zformovat do požadovaného rozměru znázorněné na obrázku 20 a 21.



Obr. 20 Příprava záslepky [26]



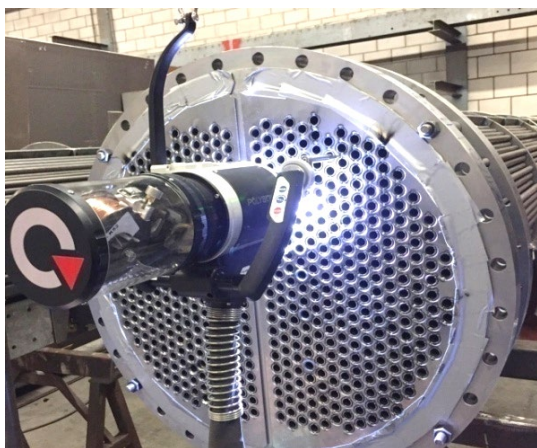
Obr. 21 Instalace záslepky [26]

Takto připravené těsnění se umístí 150 – 200 mm od kořene svaru. K upevnění na stěně potrubí pak slouží ve vodě rozpustná páska. Vodou rozpustný papír a páska mají bod vzplanutí ekvivalentní běžnému papíru, který je 232 °C. Návod na instalaci je uveden v Příloze č. 1. Používání vodou rozpustného papíru je schválené vnitřní legislativou JE a je to běžně používaný způsob při svařování závěrných svarů z korozivzdorné austenitické oceli.

2.1 Mechanizované svařování metodou TIG [23], [30], [35], [40], [41]

V dnešní době se metoda TIG postupně více vyvíjí v mechanizované a automatizované svařování. Ve srovnání s ručním svařováním se mechanizované a robotizované svařování TIG vyznačuje lepší ekonomičností a kvalitou svarů. Cílem mechanizovaného svařování je právě zvýšení kvality, produktivity a užitných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku. Tímto způsobem se eliminuje kolísání délky oblouku a nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu. Dále vede ke zlepšení hospodárnosti procesu s úsporou plynu a přídavných materiálů. V neposlední řadě je také možné snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svařečů. V dnešní době je vyvinuto mnoho aplikací pro mechanizované svařování metodou TIG.

Běžně se dnes používá tato metoda v oblasti svařování korozi vzdorných trubek a trubkovnic při výrobě tepelných výměníků nebo chladičů, znázorněno na obrázku 22 svařování orbitální hlavou. Vývinem technologie se začíná tento způsob metody používat i pro svařování potrubních systémů. Lze běžně svařovat potrubí různých průměrů od 10 mm až po rozměry velkých potrubních tras. Na obrázku 23 je vyobrazena hlava zařízení pro větší průměr potrubí.



Obr. 22 Svařování trubkovnice [35]



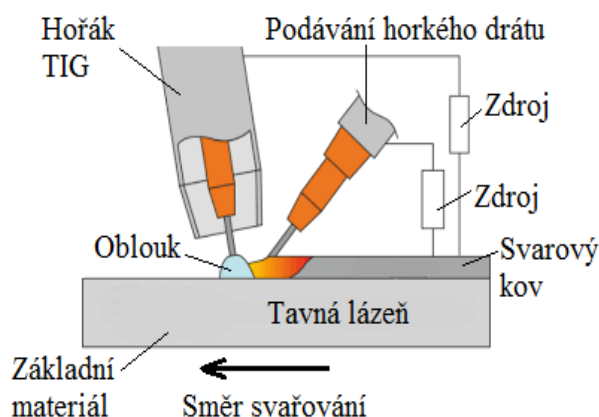
Obr. 23 Svařování potrubí [35]

Při orbitálním svařování trubek velkých průměrů je svařovací hlava přichycena na tvarovanou vodící dráhu a vykonává kruhový pohyb přibližně 375° tak, aby byl začátek svarové housenky překrytý. Dnešní moderní zařízení svařují pulsním proudem a také s pulzací přídavného drátu. Regulace parametrů svařování se provádí v závislosti na poloze svařovací hlavy vůči potrubí. Orbitální mechanizované svařování se dnes používá při výrobě součástí pro energetické zařízení, a hlavně tam kde je možné provést přípravu svarových ploch strojně s určitou přesností výroby.

Nevýhodou mechanizovaného svařování metodou TIG jsou především vysoké nároky na přesnost přípravy svařovaných částí. Rozměrová tolerance by neměla být vyšší než $\pm 0,5$ mm optimálně do $\pm 0,3$ mm. Pokud nejsou tolerance při přípravě dodrženy. Dalším úskalím je vlastní základní materiál a jeho chemické složení kdy při změně částí s jiným chemickým složením materiálu se opět musí přenastavit program svařování. Z těchto důvodů není tento způsob svařování používán na potrubní díly, kde je potrubí vyrobeno stáčením z plechů a je zde velká nepřesnost v kruhovitosti potrubí.

Metoda TIG svařování horkým drátem - při tomto způsobu je přiváděný drát předeřhříván odporovým teplem při průchodu proudem napájeného zvláštním zdrojem. Přídavný materiál, který je ve formě nekonečného drátu je přiváděn do tavné lázně za oblouk (obr.24) při teplotě blízké se teplotě tavení a je vlastně taven bez ovlivnění obloukem. Tato metoda má následující výhody použití:

- je až 4krát výkonnější,
- u tohoto způsobu svařování je nižší nebezpečí pórovitosti svaru,
- menší riziko studených spojů,
- lepší přenos legujících prvků do svaru, protože tavící se drát neprochází obloukem, nedochází tak k velkému propálu prvků,
- minimální ochlazení tavné lázně přiváděným přídavným materiálem,
- vyšší svařovací rychlost a snížení tepelného ovlivnění základního materiálu



Obr. 24 Svařování horkým drátem [40]

Tato metoda a její způsob svařování se v dnešní době používá jak při mechanizovaném strojním svařování, tak příručím, kde výrobci již vyrábí spolehlivé agregáty včetně příslušenství.

Dynamický systém posuvu drátu metody TIG horkým a studeným drátem – Kontinuální podávání drátu je částečně překrýváno pohybem drátu vpřed/zpět. Proces svařování je mimořádně stabilní při současném vysokém odbavovacím výkonu. Systémy rychlého svařování jsou dostupné v provedení studený drát a horký drát a také pro ruční a automatizovaný provoz. Dynamické svařování s rychlým pohybem drátu vpřed/zpět (obr. 25) má praktické výhody a přednosti v níže popsaných bodech:

- ideální ke svařování v nucených polohách
- perfektní kontrola tavné lázně díky překrývání pohybu vpřed a zpět svařovacího drátu
- optimální vzhled svaru s možností modelování struktury díky plynulému nastavování frekvence pohybu drátu vpřed a zpět
- bezpečné svařování kořenových vrstev s vysokou rychlostí svařování
- až o 60 % vyšší odtavovací výkon
- vyšší kvalita svaru díky výraznému snížení zředění svařovaného kovu při navařování
- svařování bez pocitu únavy díky snadnější manipulaci a pohodlnější poloze při práci oproti ručnímu svařování TIG



Obr. 25 Posuv drátu do lázně [41]

2.2 Základní materiály [24], [29], [36]

Na JE se v podstatě používají tři základní jakosti austenitických ocelí pro potrubní vedení různých médií. Výběr jakostí je určována projektantem technologii na základě provozovaných parametrů potrubních systémů a také na důležitosti, bezpečnosti z pohledu Atomového zákona. Vzhledem k těmto základním podmínkám je dále navržen celý proces výroby materiálu a jeho kontrol až po vlastní instalaci či montáž svařováním. Níže jsou tyto korozivzdorné austenitické oceli popsány včetně jejich označení dle ČSN EN ISO 10088. V následujících tabulkách jsou uvedeny jejich mechanické vlastnosti v tabulce 3 a v tabulce 4 chemické složení materiálů.

Specifikace oceli 1.4301 - Standardní materiál s vynikající odolností vůči korozi v přirozeném okolním prostředí (voda, venkovská a městská atmosféra) bez významných koncentrací chloridů nebo kyselin. Je svařitelná, ale při teplotách nad 450 °C může docházet v tepelně ovlivněné oblasti k mezikrystalové korozi. U průvarů nad 5 mm tloušťky je nutné žíhat svarový spoj. Používá se k výrobě různých druhů vybavení pro pivovarský průmysl, rozvodu pitné vody nebo u čističek odpadních vod. Dále je možné používat tento materiál v chemickém průmyslu k výrobě zařízení pro sterilizaci produktů, jako jsou kyselina dusičná, dusičnany, dusíkatá hnojiva a výbušné látky. V JE se tento druh oceli používá v malé míře, převážně pro rozvody pitné vody.

Specifikace oceli 1.4541 - Tento typ oceli je náchylný ke tvorbě teplých trhlin, jejich riziko je potřeba minimalizovat přidáním materiálem, který zajistí ve svarovém kovu dostatečný obsah δ feritu a manganu pro eliminaci nežádoucích příměsí síry a fosforu. Obsah titanu je nízký, vznik teplých trhlin nezpůsobí. Daný typ oceli vykazuje vynikající odolnost vůči korozi a také v určitém chemickém prostředí (kyselina dusičná, organické chladné roztoky kyseliny) a také odolnost při vysokých teplotách (850 °C). Je bez potíží svařitelný i bez přídavného kovu. Po svařování je odolný vůči mezikrystalové korozi. Tepelná úprava po svařování není nutná. Stabilizace proti mezikrystalové korozi probíhá prostřednictvím Ti (tvorba karbonitridů titanu). Je vhodná ke kování. Používá se zejména pro aplikace při 300 °C a více.

Specifikace oceli 1.4571 - Jedná se o austenitickou ocel stabilizovanou titanem, stejně jako ocel 1.4541, avšak navíc s Mo, proto je odolnější vůči kyselinám. Vykazuje vynikající odolnost vůči korozi v přírodním okolním prostředí také s mírnou koncentrací chloridů a kyselin. Dále v početných chemických kyselých prostředích (kyselina sírová a kyselina fosforečná, organické kyseliny) podle teploty a koncentrace. Je vedle své vysoké odolnosti vůči korozi používána také kvůli dobré pevnosti za tepla. Svařování je bez potíží. Daná ocel je po svařování odolná vůči mezikrystalové korozi. Tepelná úprava po svařování není nutná.

Tab.3 Mechanické vlastnosti používaných materiálů [36].

Značení dle EN 10088	Mechanické vlastnosti					
	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] min.		Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%] min	Odolnost proti MKK	
	podélně	napříč			v dodaném stavu	ve svařeném stavu
1.4301	210		520/720	45	Ano	
1.4541	205	245	500/750	35	Ano	
1.4571	225	265	500/750	35	Ano	Ano

Tab.4 Chemické složení používaných materiálů. [36].

Značení dle EN 10088	Chemické složení [hm. %]										
	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Cu	Si	S	Pmax	Ti	N
1.4301	≤ 0,07	17 - 19,5	8 - 10,5	-	≤ 2	-	≤ 1	≤ 0,03	0,045		-
1.4541	≤ 0,08	17- 19	9-12	-	≤ 2	-	≤ 1	≤ 0,03	0,045	5×C - 0,7	-
1.4571	≤ 0,08	16,5 - 18,5	10,5 - 13,5	2 - 2,5	≤ 2	-	≤ 1	≤ 0,03	0,045	5×C - 0,7	-

2.3 Přídavné materiály [22], [23], [29], [31], [38]

Při svařování metodou TIG u potrubních systémů na JE se ve všech případech používá správně zvolený přídavný materiál. Přídavné materiály plní při svařování metodou TIG několik funkcí:

- jedna ze základních funkcí je doplnit objem svarového kovu a vytvořit svar požadovaného tvaru a průřezu,
- velmi důležitou funkcí je legovat svarový kov přísadami, které zlepšují užitné vlastnosti svaru,
- dodat do svarového kovu přísady, které zajišťují desoxidaci, odplynění a příznivě ovlivňují metalurgické děje ve svarovém kovu,
- zlepšit formování svaru, smáčení svarových ploch a operativnost při svařování v polohách.

Přídavné materiály se rozdělují na svařovací tyčky (obr. 26), pro ruční svařování a svařovací dráty (obr. 27) pro strojní metody. Mají vhodné chemické složení a kvalitní jakost povrchu.



Obr. 26 Svařecí tyčky [23]



Obr. 27 Svařecí drát [22]

Svařecí tyčky – jsou dráty kruhového průřezu s dostatečnou tuhostí o průměrech 1 až 8 mm a délce 600 až 1000 mm. Při svařování se používají tyčky plného průřezu, nebo plněné legujícími, případně karbidickými přísadami pro navařování. Běžně používané tyčky pro svařování na JE jsou v délkách 1000 mm

Svařecí dráty – pro mechanizované metody svařování jsou dráty přesného kruhového průřezu navinuté rovnoměrně na cívkách. Svařecí dráty se dodávají od průměru 0,6 až 2,4 mm, pro navařování do 5 mm. Dráty z mědi, hliníku a jejich slitin musí mít střední stupeň tvrdosti po deformačním zpevnění, které zajišťuje tuhost při mechanizovaném podávání do místa svaru.

Pro výrobu komponentů a zařízení v JE typu VVER je doporučeno přednostně používat svařovací materiály, které předepisuje původní projektová a technická dokumentace. Tyto původní přídatné materiály a jejich přiřazení k základním materiálům jsou uvedeny v seznamu přípustných přídatných materiálů pro svařování zařízení JE v NTD ASI Sekce I Příloze č. 3

Přídatné materiály se navrhuje podle těchto zásad:

- chemické složení přídatných materiálů má být stejné nebo podobné jako základní materiál,
- pro dynamicky zatížené konstrukce z oceli je nutno volit přídatné materiály svaro-
vý kov s lepšími mechanickými vlastnostmi než základní materiál,
- pro svařování materiálů s citlivostí na horké trhliny je nutno použít přídatné materiály snižující tuto praskavost,
- na svařování materiálů s vysokou odolností proti korozi je třeba použít přídatné materiály stejného chemického složení a stejné čistoty jako základní materiál,
- pro svařování nerezavějících ocelí stabilizovaných titanem je nutno použít přídatné materiály stabilizované niobem z důvodu nižšího propalu při průchodu elektrickým obloukem.

Značení přídatného materiálu – svařecí dráty a tyčinky jsou označovány v normách dle použití k příslušné metodě svařování. Běžně se pro svařování potrubních tras z korozivzdorných austenitických ocelí na JE používají svařecí tyčky pro ruční metodu TIG. Jedná se o přídatný materiál, jehož označení je klasifikováno v dříve platné normě ČSN EN ISO 12072 a nyní v ČSN EN ISO 14343 s názvem Svařovací materiály – drátové elektrody, páskové elektrody, dráty a tyče pro obloukové svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí. Tato norma specifikuje požadavky pro klasifikování drátových a páskových elektrod, drátů a tyčí pro obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu, obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu a dále pak svařování typu laseru nebo pod tavidlem, plasmou a jiné.

Značení uvedené v tabulce 5 udává chemické složení vybraného drátu, který se běžně používá k svařování austenitických ocelí. V následující tabulce 6 jsou uvedeny ověřené mechanické vlastnosti příslušné svařecí tyčky dle normy.

Tab.5 Chemické složení materiálu drátu [37].

Označení slitin drátů dle ISO 14343		Chemické složení [%]									
Jmenovité označení	Označení dletypu	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
19 12 3 LSi	316LSi	0,03	0,65 do 1,2	1,0 do 2,5	0,03	0,02	18,0 do 20,0	11,0 do 14,0	2,5 do 3,0	0,5	-

Tab.6 Mechanické vlastnosti materiál drátu [37].

Označení slitin drátů dle ISO 14343		Mechanické vlastnosti			Tepelné zpracování po svařování
Jmenovité označení	Označení dletypu	Nejmenší mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Nejmenší pevnost v tahu R_m [MPa]	Nejmenší tažnost [%]	
19 12 3 LSi	316LSi	320	510	25	-

Označení svařovací tyčky – drátová elektroda pro obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu s chemickým složením 19 12 3 L s obsahem Si > 0,65 až 1,2 % se označuje takto:

Drátová elektroda EN 14343-W 19 12 3 L Si

EN 14343 = číslo normy

W = výrobek/označení metody W pro obloukové svařování v ochranném plynu

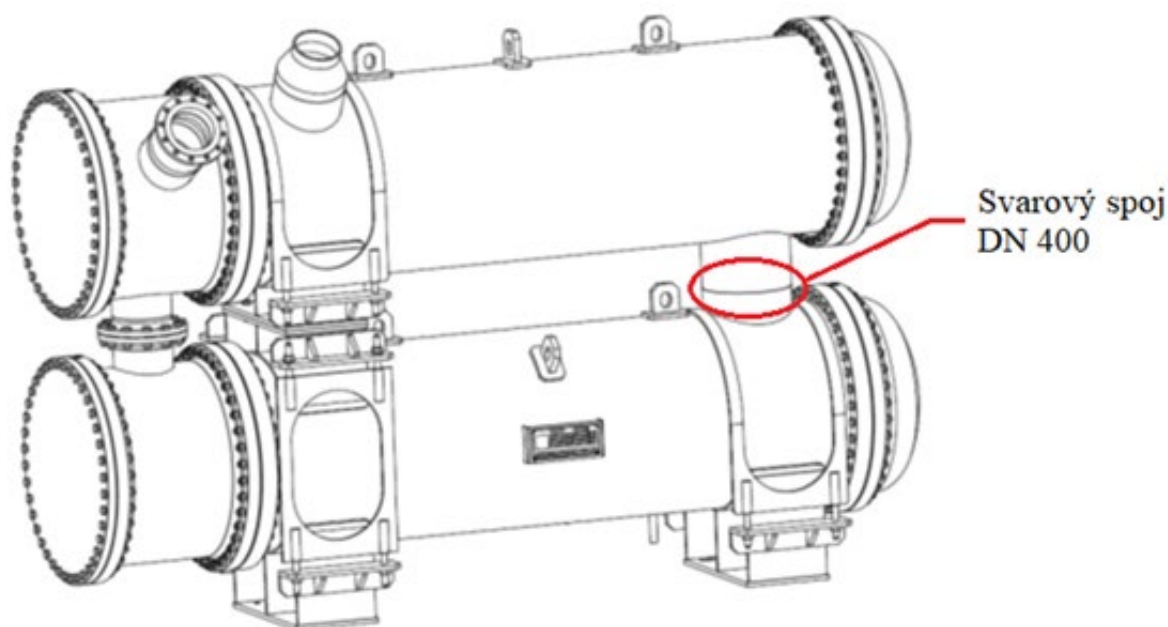
19 12 3 L Si = chemické složení drátu

Z teoretické části vyplývá, že lze provádět svařování austenitických ocelí několika metodami, které byly popsány v předešlé části této práce. Jako nejpreciznější metoda je uváděna metoda obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu TIG svařování. Touto metodou je právě proveden řešený svarový spoj v experimentální části. Problematika této metody je ve správném zvolení typu svarového spoje a v provedení dokonalé ochrany svarového kořene. To se běžně provádí formovacími plyny a utěsněním vnitřního prostoru. Toto lze provádět buď pevnými záslepkami nebo vodorozpustným papírem. V některých případech není možné použít tohoto postupu a je nutné navrhnout jinou variantu řešení, která splňuje veškeré technické a jakostní požadavky na svarový spoj včetně projektových a legislativní předpisů v JE.

3 EXPERIMENT SVAROVÉHO SPOJE DN 400

Tento experiment se zabývá vhodným návrhem metody svařování a provedením svarového spoje DN 400 mezi dvěma komorami trubkových chladičů, které v praxi slouží k chlazení bazénu skladování vyhořelého paliva. Tímto potrubním spojem proudí chlazená voda s obsahem kyseliny borité H_3BO_3 a vzhledem k vlastnosti této kapaliny je jak pro potrubní trasy, tak i pláště chladičů navrhnutý základní materiál z korozivzdorné austenitické oceli. Spoj mezi komorami chladiče je projektován, jako nerozebíratelný svařovaný spoj, který je patrný z obrázku 28. K vzhledem legislativě na JE a realizaci takového spoje je nutné před vlastní aplikací na zařízení provést ověřovací zkoušky svaru. Svarový spoj je nutné zhotovit z identického materiálu a ověřit jej řadou předepsaných zkoušek.

V rámci experimentu jsou na provedeném vzorku svarového spoje provedeny jak mechanické zkoušky, tak i metalografické a v neposlední řadě i nedestruktivní zkoušky samotného spoje. Kontrola jakosti materiálů polotovarů se provádí analýzou chemického složení, stanovením mechanických charakteristik a zjišťováním povrchových a vnitřních vad dle norem, nebo technických podmínek pro konkrétní druh materiálu a polotovaru.



Obr. 28 Sestava trubkového chladiče

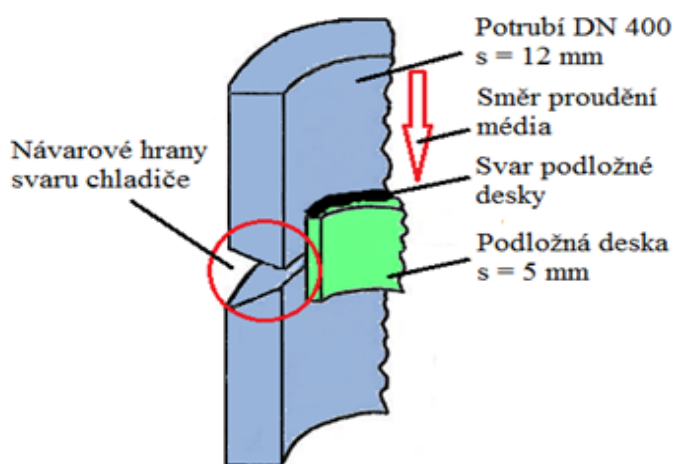
3.1 Zvolení základního materiálu

K výrobě pláště chladičů byl projektantem zvolen základní materiál dle NTD ASI Sekce II a také ČSN EN ISO 10 088. austenitická ocel s jakostí. 1.4571. Jedná se o ocel Cr-Ni-Mo-Ti, která je vysokolegovaná, korozivzdorná a používá se běžně pro tyto potrubní systémy. Tím, že je stabilizovaná titanem, tak při dodržení správných postupů a technologické kázně odolává mezikrystalové korozi. Svařitelnost tohoto materiálu je velmi dobrá. Tento materiál byl také zvolen na základě výpočtů, co se týká pevnosti materiálu a následně i dlouhodobé životnosti celkového zařízení. Materiál chladičů byl dodán s průvodně technickou dokumentací a s dokladem příslušného druhu o kontrole kvality ve smyslu EN 10 204.

3.2 Návrh metody svařování a jejího způsobu

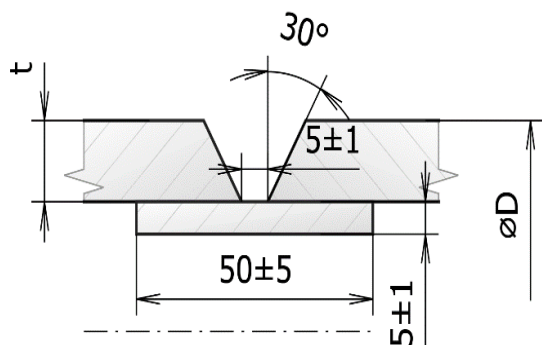
Návrh řeší proveditelnost svarového spoje, a to jak z pohledu metody svařování, tak i způsobu provedení. Svarový spoj je na zařízení, které podléhá několika legislativním předpisům na JE a jeho provedení není tak běžné. Zařízení je vlastně bráno jako bezpečnostní systém z pohledu Atomového zákona, a tudíž je k takovým spojům přistupováno, co se týká preciznosti vyhotovení, ale i vlastního vyhodnocení kvality spoje. Dle dokumentace TPE 10-40/1771/2014 – JE (Všeobecné technické podmínky pro montážní svařování potrubí elektráren typu VVER) je možné provádět svařování austenitických ocelí několika způsoby, ale vždy musí být přihlédnuto k projektovým požadavkům a zařazení svarových spojů dle kategorií provozních podmínek. Pro tento spoj byla určena metoda svařování TIG.

V rámci přípravy montáže komor chladičů bylo identifikováno jako riziko proveditelnost závěrného spoje mezi komorami a jeho kvality. Zkouškou bylo ověřeno, že nelze vytvořit optimální podmínky pro svařování, tj. dostatečná ochrana kořene formovacím plynem. Použití vodorozpuštného papíru není také možné, vzhledem k dispozičnímu uspořádání hrdel a rizika vznícení. Spoj je navržen jako tupý svarový spoj s trvalou podložkou, který je znázorněn na obrázku 29. Výrobce chladičů k takovému řešení vydal kladné stanovisko.

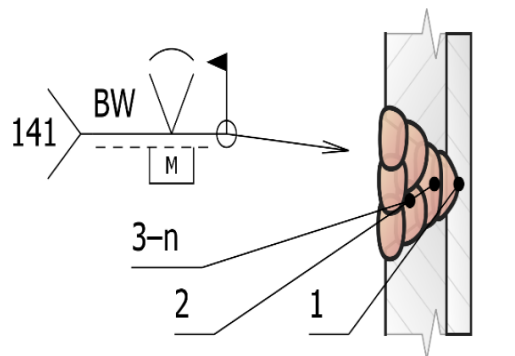


Obr. 29 Návrh spoje

Na základě zvolené metody svařování a použitých rozměrů základního materiálu s uvažováním všech technických možností, jak provést svarový spoj byla vyhotovena svařecí dokumentace WPS (Příloha č. 2). Zde je uveden tvar svarových plocha způsob kladení vrstev svarů, viz obrázky 30 a 31.



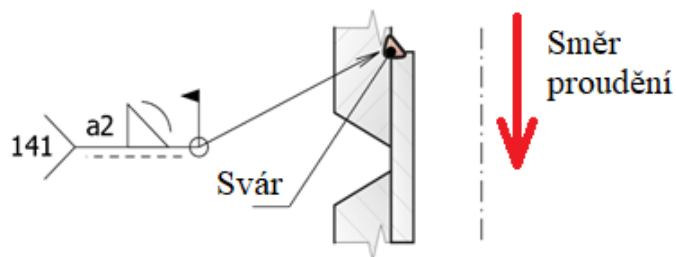
Obr. 30 Tvar spoje



Obr. 31 Kladení vrstev

Pro každý typ svarového spoje je vyhotovena samostatná svařecí dokumentace vzhledem k parametrům svařování.

Pro svarový spoj u podložního plechu 50 x 5 mm k potrubním hrdlům z vnitřní strany byl také vyhotovena WPS (Příloha č. 3), kde jsou uvedeny veškeré parametry svařování. Svar je umístěn z pohledu proudění média uvnitř potrubí proti směru proudění provozní kapaliny (obr. 32).



Obr. 32 Svar podložního plechu

Jedním z údajů, který je také uvedený na dané dokumentaci je i přídatný materiál což je svařovací drát W 19 12 3 L Si. Tento materiál přídatných drátů je volen na základě přiřazení ze seznamu NTD ASI Sekce I Příloze č. 3. V tabulkách 7 a 8 je uveden výňatek z inspekčních certifikátů (Příloha č. 4). Jedná se o přídatný materiál, jehož označení je klasifikováno v normě ČSN EN ISO 14343. Použitý přídatný materiál je od f. OERLIKON označený jako INERTROD 316LSi katalogový list je uveden v Příloze č. 5

Tab.7 Přehled chemického složení použitého přídatného drátu.

Označení slitin drátů dle ISO 14343		Chemické složení [%]								
Jmenovité označení	Označení dletypu	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co
19 12 3 LSi	316LSi	0,01	0,74	1,77	0,02	0,01	18,2	12,1	2,5	0,026

Tab.8 Přehled mechanických vlastností použitého přídatného drátu.

Označení slitin drátů dle ISO 14343		Mechanické vlastnosti			Tepelné zpracování po svařování
Jmenovité označení	Označení dletypu	Nejmenší mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Nejmenší pevnost v tahu R_m [MPa]	Nejmenší tažnost [%]	
19 12 3 LSi	316LSi	523	634	27,2	-

Tento přídatný materiál obsahuje dle dodaného atestu viz Příloha č. 6 delta ferit, který má hodnoty FN2: 4,9;4,8;4,4 [%]

Ve svařovací dokumentaci je také uveden ochranný plyn argon dle EN ISO 14 175, který lze použít k typu svarového spoje. Běžně je dodáván na JE jako stlačený plyn v tlakových lahvích ve třech základních čistotách uvedeno v tabulce 9. Ke zjednodušení označení existuje mezinárodně platný systém ukazatelů. Ukazatele se skládají z čísla, tečky a druhého čísla. První číslo udává počet devítek, číslo za tečkou udává poslední číslo celkové hodnoty.

Tab.9 Značení a čistota dodávaného argonu. [14], [25]

Označení	Procentuální podíl argonu
Argon 4.6	99,996 %
Argon 4.8	99,998 %
Argon 5.0	99,999 %

Pro svařování vzorku experimentu a celkově pro běžné provedení svarových spojů na JE se používá argon o čistotě 4.6. Procentuální podíl je uveden v tabulce 9.

3.3 Kontrola základního materiálu

Základní materiál dodávaný k realizaci v jaderné energetice je nutné z nařízení vnitřní legislativy znovu prověřovat a porovnávat s doklady, které jsou součástí dodávky. V tabulce 10 a 11 jsou uvedeny mechanické vlastnosti tohoto materiálu odečtené z inspekčních certifikátů 3.1 uvedených v Příloze č. 7 a 8. V tabulce 12 a 13 jsou uvedeny chemické složení použitých vzorků materiálů.

Tab.10 Mechanické vlastnosti použitého vzorku materiálu podložního kroužku.

Značení dle EN 10088	Mechanické vlastnosti				
	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%] min	Odolnost proti MKK	Tvrdost HBW
1.4571	329	597	50	Ano	186

Tab.11 Mechanické vlastnosti použitého vzorku materiálu hrdla DN 400 mm.

Značení dle EN 10088	Mechanické vlastnosti				
	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%] min	Odolnost proti MKK	Tvrdost HBW
1.4571	247	566	63	Ano	186

Tab. 12 Chemické složení použitého vzorku materiálu podložního kroužku.

Značení dle EN 10088	Chemické vlastnosti										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Al
1.4571	0,03	0,46	1,41	0,03	0,01	16,9	10,6	2,05	0,33	0,014	0,025

Tab. 13 Chemické složení použitého vzorku materiálu hrdla DN 400 mm.

Značení dle EN 10088	Chemické vlastnosti									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Co
1.4571	0,03	0,68	1,18	0,017	0,001	17,02	10,61	2,07	0,26	0,03

Běžně se provádí kontrola emisním přístrojem a nebo ručním spektrometrem. Zde byla analýza k ověření chemického složení základního materiálu provedena ručním spektrometrem VANTA (obr. 33 a 34) pro měření chemických látek. Měření bylo provedeno jak na potrubním doměrku DN 400, tak i podložném skruženém plechu 50 x 5 mm.



Obr. 33 Měření potrubí DN 400



Obr. 34 Měření podložného plechu

Výsledky byly porovnány s inspekčními certifikáty 3.1. V případě použitého vzorku, na kterém byl prováděn experiment, je materiál identický s použitým materiálem propojovacích hrdel chladičů.

Z tohoto měření je vyhotoven protokol s uvedenými naměřenými hodnotami chemických prvků. Tímto rychlým měřením bylo prokázáno, že oba polotovary materiálů odpovídají požadované jakosti 1.4571. Přístroj je vybaven databází normativních hodnot jakostí materiálů a zároveň i programem pro ukládání naměřených hodnot včetně programu pro výstup ve formě protokolu. Protokol z tohoto měření je uveden v Příloze č. 9. Část protokolu je znázorněna na obrázku 35. Následovala kontrola rozměrů a následně svarových ploch.

Složení 1.4571
Přesný - X6CrNiMoTi17-12-2 (316 Ti)

El	%	+/-	1.4571
Al	0.220	0.039	Resd. 0.5
Si	0.667	0.017	0.00 1.00
P	ND	<0.008	0.00 0.05
S	ND	<0.016	0.00 0.01
Ti	0.334	0.013	0.00 0.90
V	0.106	0.007	Resd. 0.2
Cr	16.674	0.044	0.00 16.50
Mn	1.358	0.027	0.00 2.00
Fe	66.867	0.071	60.00 70.00
Co	0.239	0.028	Resd. 0.6
Ni	10.718	0.047	10.50 11.50
Cu	0.619	0.014	0.00 1.00
Zn	0.030	0.003	Resd. 0.1
Nb	0.0200	0.0009	Resd. 0.1
Mo	2.075	0.007	2.00 2.50
W	0.073	0.009	Resd. 0.3
El	%	+/- 3σ	1.4571

Obr. 35 Naměřené hodnoty chemických prvků

3.4 Zhotovení svarových ploch

Příprava svarových ploch se vždy provádí mechanickým opracováním, a to dle tvaru dílu a tloušťky materiálu hoblováním, obrážením, frézováním, soustružením nebo broušením. Příprava svarových ploch broušením v provozu jaderných elektráren je povolena pouze v odůvodněných případech a na základě schváleného postupu. Tepelné dělení materiálu plamenem, plazmou a laserem je přípustné pouze v kombinaci s následným přebroušením a odstraněním tepelně ovlivněné oblasti vzniklé tepelným dělením. U potrubí a materiálů z austenitické oceli nesmí při opracování vystoupit teplota materiálu nad 200 °C. Svarové plochy musí být dokončeny přebroušením s cílem odstranění nerovností, nauhličené a tepelně ovlivněné oblasti. Důležitým předpokladem úspěšného svařování je příprava svarových ploch, která se řídí především tloušťkou a druhem svařovaných materiálů. Kromě běžných tvarů úprav úkosů jako je lemový svar, I a V svar se často používají i při relativně malých tloušťkách U svary nebo jejich modifikace.

Pro tento experiment byl základní materiál dělen vodním paprskem a svarové plochy na potrubí DN 400 byly zhotoveny hoblováním a následně dokončeny přebroušením.

3.5 Kontrola kvality svarových ploch

Kvalita svarových ploch a přilehlých oblastí je prověřována kontrolami stanovenými plánem kontrola zkoušek či jinou vnitřní dokumentací v JE, které je nutné dodržet při realizaci.

Jedná se např. o některé z následujících kontrol:

- kontrola rozměrů a tvaru
- vizuální kontrola
- kapilární kontrola

Pročást experimentu byly provedeny kontroly svarových ploch vizuální a kapilární metodou, která je znázorněna na obrázcích 36 a 37. Kapilární metoda využívá charakteristické vlastnosti fázových rozhraní a kapilárních vlastností kapalin. Princip metody spočívá ve vztlínivosti a smáčivosti jednotlivých kapalin (penetrantů), jejich barevnosti a fluorescence. Na povrch zkoušeného materiálu je nanesen penetrant, který vniká do všech vad povrchu. Po následném odstranění přebytku penetrantu z povrchu dochází ke vztlínání penetrantu zbylého v povrchových vadách. Za pomoci vývojky nanesené na zkoušený povrch pak vytvoří barevnou indikaci vady.



Obr. 36 Nanesený penetrant



Obr. 37 Nanesená vývojka

3.6 Svařování experimentálního vzorku

Po vyhotovení svařovací dokumentaci a určení přídavného materiálu včetně provedení kontrol bylo provedeno svařování vzorku. Vzorek byl tedy svařován metodou TIG ručním svařováním a svarový spoj byl proveden jako tupý V spoj se stabilní podložkou, jak bylo popsáno v předešlých částech. Svařování experimentálního vzorku je na obrázku 38.



Obr. 38 Svařování experimentálního vzorku

V průběhu svařování byly jednotlivé návary vždy očištěny před navařením další vrstvy. Na obrázcích 39 a 40 je znázorněn postupný průběh zhotovení vzorku. Při svařování austenitických ocelí je důležité v průběhu procesu kontrolovat ohřátí svarového spoje a okolního materiálu v celém procesu. Svářeč tuto činnost provádí většinou pomocí dotykového teploměru. Teplota interpas nesmí překročit hodnotu 100 °C.



Obr. 39 Stabilní podložka

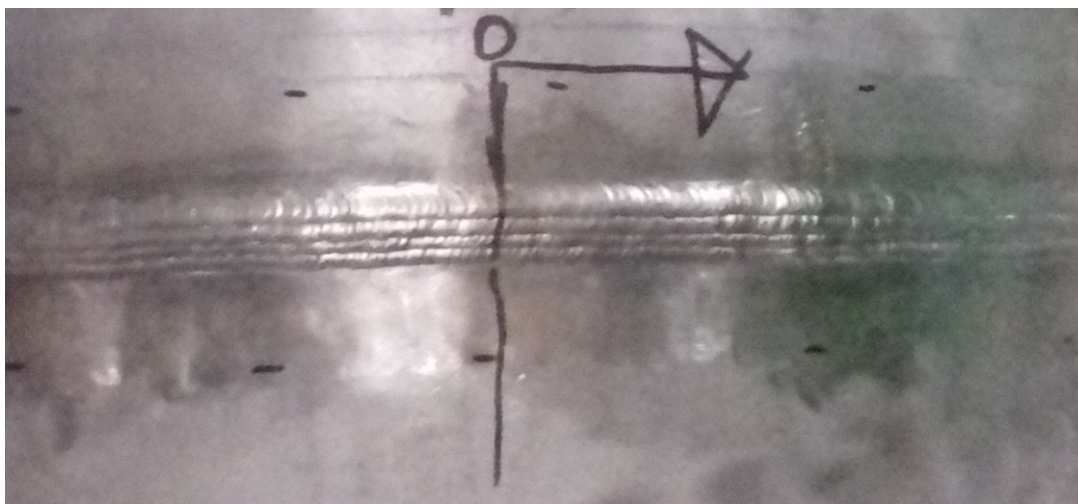


Obr. 40 Svařování vrstev svaru

3.7 Zkoušky ověřovaného svarového spoje [32], [33], [37], [38]

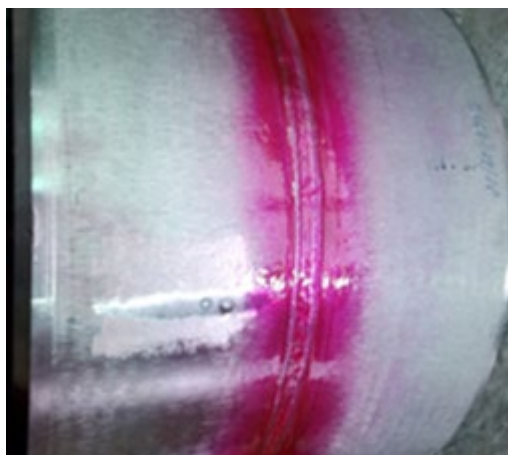
U zhotoveného spoje byla provedena kontrola kvality zhotovení svaru dle schválených postupů a legislativy pro jaderné elektrárny TPE 10-40/1771/2014 – JE. Dle těchto podmínek byly provedeny kontroly různými metodami:

- **Vizuální kontrola svaru VT** – Jako jediná metoda z kontrol je prováděna i během svařování, kde se kontroluje povrch jednotlivých vrstev spoje, než je navařena další. Po zavaření spoje byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 17 637 (obr. 41). Touto vnější prohlídkou a měřením se zjišťují vady svaru např. vruby, zápaly. Dále je kontrolován i základní materiál v okolí svaru do vzdálenosti 20 mm. Protokol od této kontroly je uveden v Příloze č. 10 s výsledkem vyhovuje.

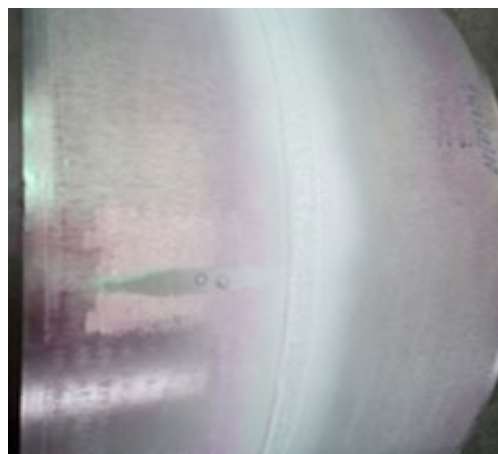


Obr. 41 Svar při VT kontrole

- **Zkouška kapilární PT** – Zkouší se způsobem barevné indikace pro zjištění diskontinuit na zkoušeném povrch svaru jako jsou trhliny, přeložky, rýhy, póry a studené spoje, které jsou otevřené na povrchu zkoušeného svaru. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 3452-1. Na obrázcích 42 a 43 je znázorněna kontrola provedení PT pro tento spoj. Výsledek je opět zaznamenán v protokolu, který je Přílohou č.11.



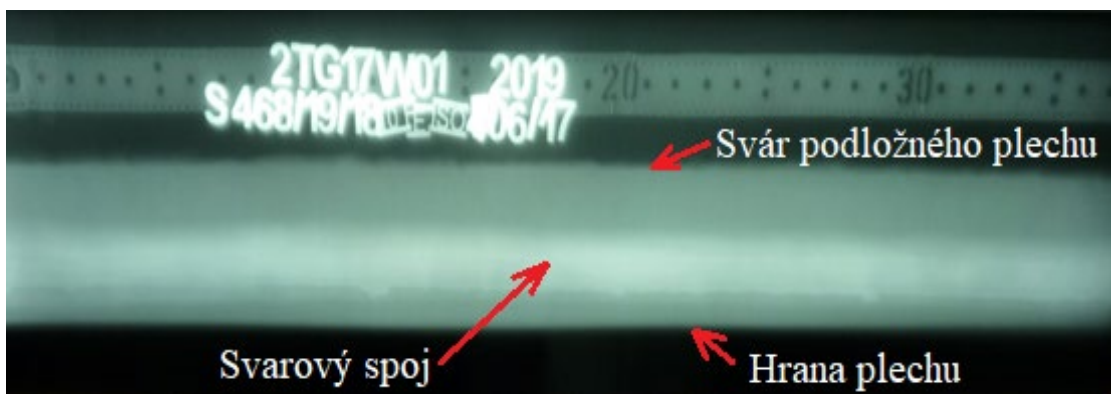
Obr. 42 Nanesený penetrant na svaru



Obr. 43 Nanesená vývojka na svaru

- **Zkouška prozářením svaru RT**–Tato zkouška byla provedena na daném svaru dle ČSN EN ISO 17 636-1 k zjištění objemových vad spoje jako jsou póry neprůvary, vměstky a studené spoje.

Metoda využívá k prozáření radiografického zařízení s filmem. Obraz, který je zaznamenán na filmu (obr. 44) byl následně vyhodnocen a výsledek zapsán do protokolu, který je Přílohou č. 12 této práce



Obr. 44 Snímek z RT kontroly

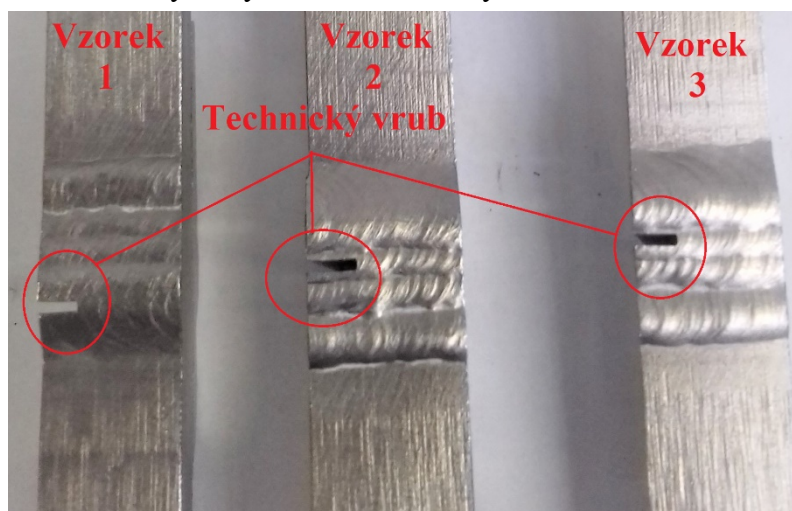
Zkoušení svarového spoje bylo provedeno metodami pro nedestruktivní zkoušky, které byly doplněny o metody destruktivních zkoušek. Příprava vzorků svarového spoje pro destruktivní metody byla provedena dělením na strojní pásové pilce znázorněno na obrázku 45, kde při dělení nevzniká vysoké teplo, které by mohlo ovlivnit materiálové vlastnosti vzorků.



Obr. 45 Dělení vzorků

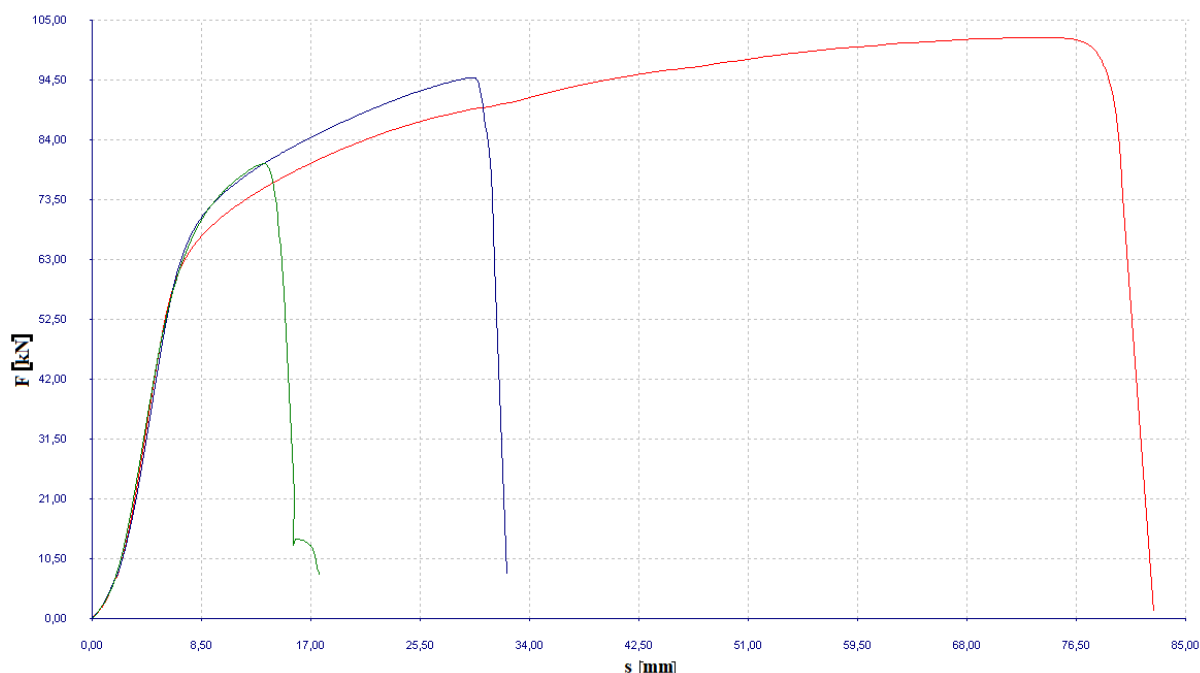
- **Zkouška tahem** – Tato zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 6892-1, která specifikuje metodu zkoušení tahem kovových materiálů a definuje mechanické vlastnosti. Zkouška spočívá v deformaci zkušebního tělesa tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností. Zkouška se musí provádět za pokojové teploty mezi 10 °C a 35 °C, pokud není stanoveno jinak. Tvar a rozměry zkušebních těles mohou být podmíněny tvarem a rozměry kovového výrobku, ze kterého jsou zkušební tělesa odebírána. Zkušební těleso se obvykle získá obráběním vzorku z výrobku, výlisku nebo odlitku. Avšak výrobky konstantního průřezu (profily, tyče, dráty atd.) a rovněž litá zkušební tělesa (tj. z litin a neželezných slitin) se mohou zkoušet, aniž by musely být obrobena. Průřez zkušebních těles může být kruhový, čtvercový, obdélníkový, prstencový, nebo ve zvláštních případech i jiného tvaru.

Zkoušené vzorky (obr.46) mají obdélníkový tvar. Pro snadnější určení polohy lomu je běžné vzorky naleptat. Pro tuto zkoušku byl vytvořen technický vrub ve vzorcích, a to přímo ve svarovém spoji. Při přetržení zkušebních tyčí se musí lomová plocha vyhodnotit na všechny vady, které by ovlivnily výsledky zkoušky. Tímto vrubem jsou tedy ovlivněny naměřené hodnoty mechanických vlastností zkoušených vzorků a k porovnání s technickými listy dodaných k základnímu materiálu je nutné k tomu přihlídnout.



Obr. 46 Tvar zkušebních těles s vrubem

Tahová zkouška vzorků byla provedena na hydraulickém zkušebním stroji ZD40/400kN. Technické parametry stroje jsou uvedeny v Příloze č. 13. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v následujícím grafu obrázek 47.



Obr. 47 Graf z tahové zkoušky

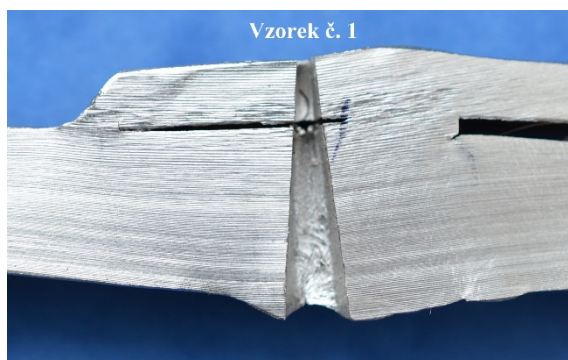
■ vzorek č.1
 ■ vzorek č.2
 ■ vzorek č.3

Zaznamenané hodnoty z tahové zkoušky v tabulce 14 poukazují na ovlivnění technickým vrubem a v případě prvního vzorku kdy nedošlo k přetržení v předpokládaném místě, ale v základním materiálu tyčky jsou některé hodnoty velmi odlišné např. tažnost (A).

Tab. 14 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky vzorků.

Vzorek č.	S [mm ²]	F [N]	R _{p2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	poznámka
1	175,5	102000	338	581	100	V základním materiálu
2	155	79822	382	515	8	Ve svaru
3	170	94928	373	559	12	Ve svaru

Podle naměřených hodnot u meze pevnosti R_m lze usuzovat, že při svařování došlo k dokonalému promísení základního materiálu a přídatného drátu. Hodnoty se pohybují mezi R_m základního materiálu a R_m přídatného drát odečtených z technických listů. Na obrázcích 49 a 50 jsou vidět vybrané vzorky po provedené tahové zkoušce.



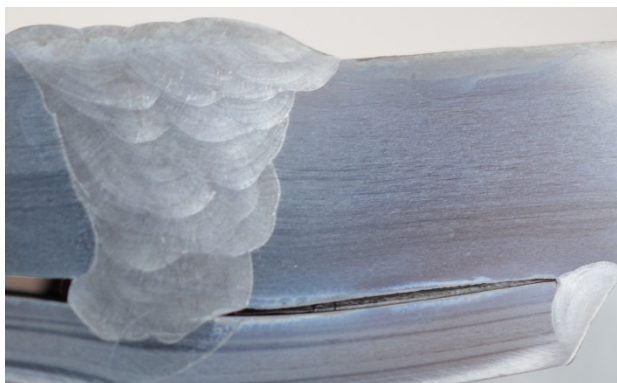
Obr. 48 Nepřetržený vzorek č. 1



Obr. 49 Přetržený vzorek č. 2

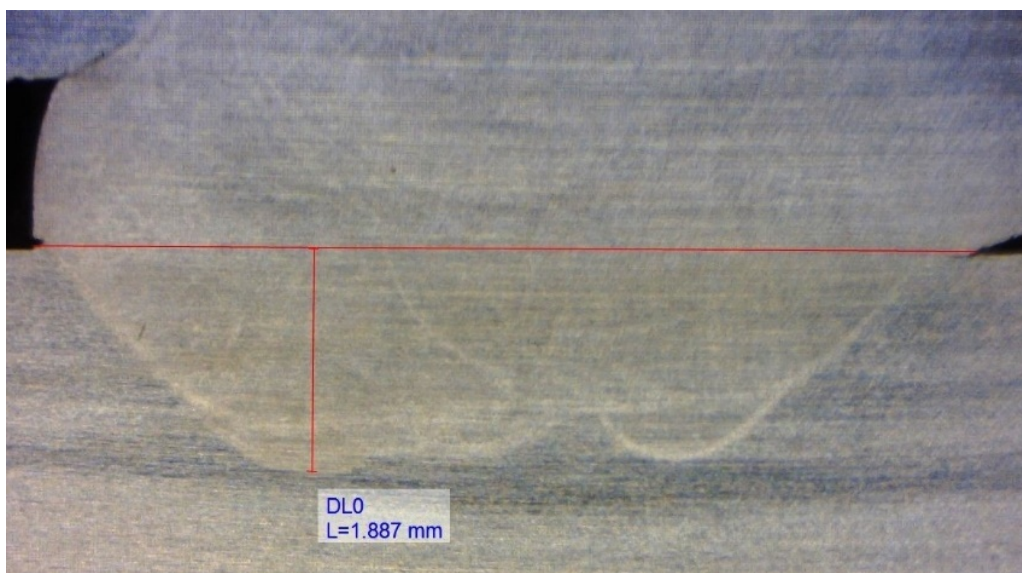
Lomová plocha, která byla vlastně zkoumaná pod mikroskopem nevykazovala žádné vady svarového spoje, a tedy je možné konstatovat, že výběr metody svařování a zhotovení svaru je v souladu s předpokládaným výsledkem.

- **Kontrola makrostruktury** – kontrola svarů se provádí v souladu s následující normou ČSN EN ISO 17639. Destruktivní zkouška svarů kovových materiálů makrostruktury se všeobecně používá k odhalení výrazných strukturních heterogenit kovů a slitin. Při studiu struktury svarů informuje o geometrii svaru, výskytu ne průvarů nebo studených spojů, skladbě housenek, namíchání svarového kovu. Vypovídá také o přítomnosti vměstků, pórů, trhlin, a to jak ve svarovém kovu, tak i v TOO a o její velikosti. Někdy lze pozorovat plochu makro výbrusu bez další úpravy přímo anebo po naleptání. Na obrázku 50 je vzorek po naleptání.



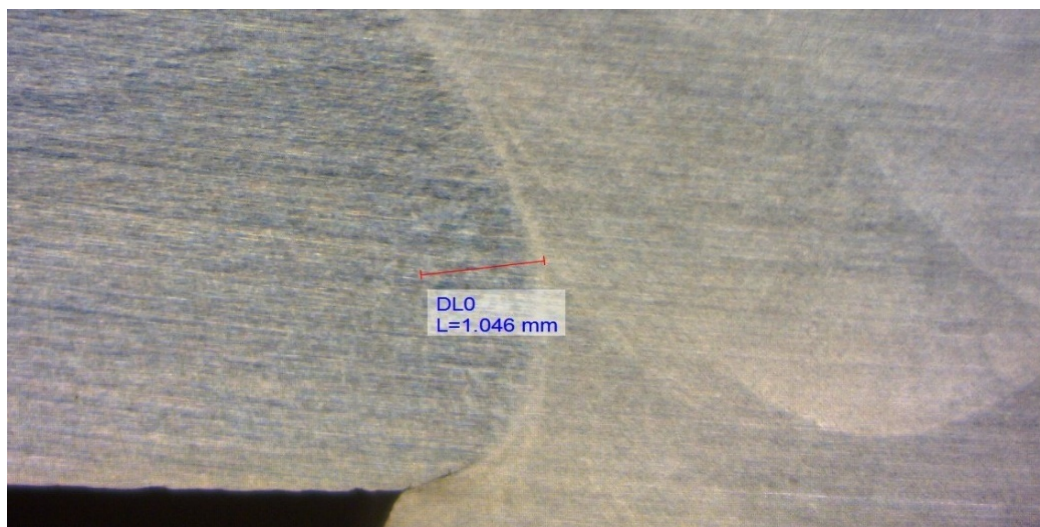
Obr. 50 Foto struktury svaru

Po provedení úpravách vzorku byla provedena kontrola makrostruktury svarového spoje pod mikroskopem. Zvětšení příčné plochy svarového spoje bylo 50 x větší než skutečná velikost svaru. Na obrázku 51 je vidět provaření přídavného materiálu do základního podložného kroužku. Průvar činí přibližně 2 mm a promíchaný kov nevykazuje žádné vady



Obr. 51 Průvar do trvalé podložky

Na dalším obrázku 52 je možné hodnotit velikost TOO, která v tom to případě činí více jak 1 mm. Dále je možné pozorovat způsob a tvar kladení svarových vrstev a jejich úplné překrývání a spojení, které také nevykazují vady.



Obr. 52 Velikost TOO

Po provedeném souboru zkoušek je možné konstatovat, že daný způsob svařování a jeho provedení bylo dle předpokladů správné. Svarový spoj pro experiment nevykazuje žádné vady a lze tedy doporučit tento způsob provedení svarových spojů při montáži trubkových chladičů na JE.

4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

V části experimentu této práce byly posouzeny technické možnosti sestavení chladičů a spojení jednotlivých komor svarovým spojem DN 400 z korozivzdorné austenitické oceli. Jako nejvýhodnější metoda pro svařování byla vybrána metoda TIG pro její přednosti. Typ svarového spoje byl určen na základě inženýrského posouzení pevnosti propojení komor a dále s přihlédnutím k dodržení legislativy JE na vnitřní čistotu potrubního systému. Jedná se o tupý svarový spoj „V“ s trvalou podložkou uvnitř potrubí. Při výběru této metody a způsobu provedení svaru byly vzaty v úvahu i okolnosti proveditelnosti dokonalé ochrany vnitřního prostoru spoje a ochrany kořene před oxidací. V neposlední řadě bylo také myšleno na případnou opravu svaru. Tato oprava je v takovém případě velice náročná jak z hlediska času, tak i z hlediska ekonomiky. V rámci experimentu byla vyhotovena svařecí dokumentace WPS, kde jsou uvedeny všechny parametry a postup zhotovení svaru. Svařovaný materiál experimentálního vzorku byl identický s materiálem chladičů. Přídavný materiál byl určen na základě předepsaných materiálů ze seznamu přípustných přídavných materiálů pro svařování zařízení JE v NTD ASI Sekce I Příloze č. 3. Schválený drát, kterým byl vzorek svařován je dodávka společnost OERLIKON a typ svařovacího drátu byl INERTROD 316LSi.

Na připravovaném vzorku potrubí byla provedena série NDT kontrol od přípravy návarových hran až po finální kontrolu celého svarového spoje provedením RT svaru. Všechny NDT kontroly ověřily kvalitu materiálu a svaru a jejich výsledky byly zaznamenány do protokolů. Pro doplnění kompletnosti kontrol byly na svařeném vzorku provedeny i destruktivní zkoušky, a to tahová zkouška a makro svarového spoje. Tahová zkouška na třech vzorcích byla ovlivněna vytvořením technického vrubu pro možnost přetržení vzorku přímo ve svarovém spoji. Po přetržení byla provedena kontrola lomové plochy svaru, kterou nebyly zjištěny žádné trhliny či vady ve svarovém kovu. U provedené zkoušky makro svaru byly pozorovány svarové vrstvy a jejich kladení či překrytí mezi sebou. Dále byla kontrolována oblast TOO a průvar v podložném plechu. Všechny tyto kontroly neshledaly žádné zásadní vady svarového spoje a je tedy možné doporučit metodu a způsob provedení k použití za předpokladu dodržení technologické kázně při svařování korozivzdorných austenitických ocelí. Na obrázku 53 je vidět použití této metody svařování v praxi na již provozovaném zařízení.



Obr. 53 Použití svarového spoje v praxi

5 ZÁVĚRY

V bakalářské práci, jejímž tématem je svařování austenitických ocelí byla v úvodu popsána korozivzdorná ocel a její rozdělení podle chemického složení a struktury. Dále byly uvedeny vlivy jednotlivých legujících prvků na vlastnosti austenitických ocelí včetně změn při procesu svařování a faktorů, které ovlivňují jejich svařitelnost. V následující části jsou rozebrány nejpoužívanější ruční metody svařování korozivzdorných austenitických ocelí. Jedná se o metody MMA (111), MIG/MAG (135, 136) a TIG (141). V této práci je podrobně popsána metoda TIG, která má největší podíl na provádění svarových spojů z austenitických ocelí na JE. Pro tuto metodu svařování potrubních částí z austenitických ocelí je zásadní ochrana kořene svarového spoje, která se provádí několika způsoby popsanych v této práci. Metodu lze také velmi dobře mechanizovat pro svařování trubek a trubkovnic či orbitálnímu svařování. V dnešní době se začíná stále více aplikovat v JE různé způsoby mechanizovaného svařování. Z pohledu legislativy jaderného zařízení je nutné pro běžné používání provést kvalifikaci daných způsobů svařování včetně přídavných materiálů. Zajímavou variantou svařování je metoda TIG s použitím horkého drátu pro ruční svařování. Tomuto způsobu progresivního svařování je věnovaná část kapitoly číslo 2.

Pro část experimentální práce jsem zvolil jeden ze svarových spojů, který není tak běžný na jaderném zařízení a před jeho aplikováním v praxi je nutné provést soubor ověřovacích zkoušek. Těmito je nutné prokázat bezpečné zhotovení při zachování požadovaných vlastností a kvality spoje. Jedná se o tzv. závěrný svarový spoj mezi horní a dolní komorou plášťové strany chladiče z austenitické oceli 1.4571 potrubním propojením o rozměru DN 400. Experiment se zabývá problematikou metody svařování TIG, převážně spolehlivým způsobem ochrany kořenové vrstvy, která se běžně provádí formovacím plynem, argonem. V tomto případě klasický způsob ochrany je nespolehlivý, a proto byl navrhnutý jiný, který umožňuje vnitřní legislativa pro JE. Svarový spoj byl zhotoven jako tupý ve tvaru „V“ s trvalou podložkou z vnitřní strany potrubí. Podložka je vyrobena ze stejné jakosti materiálu jako potrubní propoj, a to z plechu o rozměru 50 x 5 mm skruženého na průměr 400 mm, která je fixována koutovým svarem ze strany proudícího média. Tímto způsobem je zabezpečena ochrana kořene svarového spoje před oxidací při zachování technických požadavků na svar. Dále jsou také sníženy náklady na formovací plyn. V neposlední řadě toto řešení usnadní případnou opravu svaru.

Soubor provedených NDT kontrol doplněných o zkoušky destruktivní na svařovaném experimentálním vzorku prokázal, že zvolená metoda TIG včetně druhu přídavného materiálu a způsob provedení splnily předpokládané výsledky. Na základě ověření lze metodu a způsob provedení doporučit k realizaci v praxi.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [42]

1. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009, 486 s.: il., čb. fot. ISBN 978-80-227-3167-6.
2. WELDINGXPERT. *WELDINGXPERT* [online]. USA: Welding Xpert, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.weldingxpert.com/best-tig-welder-reviews>
3. *ATOMIX: E – časopis pro zaměstnance a dodavatele* [online]. 2019, (2) [cit. 2019-05-15].
4. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 1997, (6). ISSN 1212-2572.
5. ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. Třetí přepracované a doplněné vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984, 355 stran: obrázky, tabulky + 5 listů s tabulkami.
6. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s.: il. ; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
7. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu. I*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, xii, 516 s.: il. ISBN 80-7204-283-1.
8. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s.: il.; 25 cm. ISBN 80-7204-248-3.
9. BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s.: il.; 30 cm. ISBN 80-85771-72-1.
10. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-7082-697-5.
11. BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS – svářečské nakladatelství, 2013, 166 stran: ilustrace, černobílé fotografie. ISBN 978-80-85771-03-9.
12. FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. *Materiály a jejich svařitelnost*. 2. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
13. ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 8020006710.
14. ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 stran: ilustrace. ISBN 80-88780-21-7.
15. *Konstrukce: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. Ostrava, 2015, (6). ISSN 1213-8762.
16. *Konstrukce: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. Ostrava, 2014, (6). ISSN 1803-8433.
17. SCHINKMANN. *SCHINKMANN* [online]. Kosmonosy: Schinkmann, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>

18. HLA VATÝ, Ivo. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava, 2011, 1. vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2414-7.
19. MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 1998. ISBN 80-7183-285-5.
20. ČSN EN ISO 6848: *Obloukové svařování a řezání – Netavící se wolframové elektrody – Klasifikace*. Třetí vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
21. Svarinfo.cz.: *MAGAZÍN PRAKTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ* [online]. Praha: Svarbazar.cz, 2006 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006111201>
22. Pro Sváření. *Prosvareni.cz* [online]. Náchod: prosvareni.cz, 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://prosvareni.cz/cz-detail-357-esab-aristorod-12.50-0-8mm-15kg-drat-svareci-mig-sg2-nepomedeny.html>
23. KOVOINOX: Nerezové polotovary. *KOVOINOX* [online]. Brno: KOVOINOX s.r.o, 2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.kovoinox.cz/p/svarovaci-drat-aisi-316l-oe-2-0-mm-5-kg-pro-svarovani-tig-nerez>
24. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
25. ČSN EN ISO 14 175: *Svařovací materiály – Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
26. WIRPO. *WIRPO* [online]. Brno: WIRPO s.r.o, 2019, 2019 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/system-aquasol/vodou-rozpustny-papir>
27. WELDPOID. *Weldpoint* [online]. Zakřany: welpoid.s.r.o, 2006 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://weldpoint.eu/shop/847-stavebnicovy-system-pro-plynovou-ochranu-korene-svaru/>
28. *MAGAZÍN PRAKTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ*. *Svarbazar.cz* [online]. Praha: svarbazar, 2006, 7.1.2009 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
29. BARTÁK, Jiří. *Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce*. Praha: Dashöfer, 2008, (5). ISSN 1803-2834.
30. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
31. ČSN EN ISO 14343: *Svařovací materiály – drátové elektrody, páskové elektrody, dráty a tyče pro obloukové svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí-Klasifikace*. Třetí vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
32. *Materiály a jejich chování při svařování: učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2016.
33. ČSN EN ISO 17639: *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

34. Leeden. *Leeden* [online]. Austrálie: Leeden Australia, 2016 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.leedenlimited.com.au/products/welding/tag/double-seal-silicon-purge-system>
35. POLYSOUDE: THE ART OF WELDING. *www.Polysoude.com* [online]. Francie: Polysoude SAS, 2004 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.polysoude.com/orbital-and-automated-welding/>
36. ČSN EN ISO 10088: *Korozivzdorné oceli-Část I: Přehled korozivzdorných ocelí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
37. ČSN EN ISO 14343: *Svařovací materiály – Drátové elektrody, páskové elektrody, dráty a tyče pro obloukové svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí – Klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
38. *Normativně technická dokumentace A.S.I.: SVAŘOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ A POTRUBÍ JADERNÝCH ELEKTRÁREN TYPU VVER*. In: . ČR: Asociace strojních inženýrů, 2017, ročník 2017, číslo 1.
39. ČSN EN ISO 17636-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení- Část 1 : Metody rentgenového a gama záření využívající film*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
40. *Advanced Technologies and Materials* [online]. 2018, (1) [cit. 2019-05-16]. ISSN 2620-0325. Dostupné z: <http://journal-atm.org/archive/vol-43-no-2-2018>
41. NARROW GAP TIG WELDING GUIDE. In: *www.polysoude.com* [online]. Francie: *www.polysoude.com*, 2013 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://static1.squarespace.com/static/54becf2ae4b09fae314e6e56/t/57a88ff9c534a5bcf5be977ae/1470664711679/DOC_Guide_Narrow-Gap_Handbook_EN_LR.PDF
42. *Citace PRO* [online]. 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
Al	Hliník	[-]
Ar	Argon	[-]
ASI	Asociace strojních inženýrů	[-]
C	Uhlík	[-]
°C	Jednotka teploty	[C]
cca	Přibližně	[-]
Co	Kobalt	[-]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cr _E	Chromový ekvivalent	[%]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DN	Jmenovitá světlost	[mm]
EN	Evropská norma	[-]
F	Síla	[Pa]
FN	Feritové číslo	[%]
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	[-]
He	Helium	[-]
H ₃ BO ₃	Kyselina boritá	[%]
ISO	International Organization for Standardization	[-]
JE	Jaderná elektrárna	[-]
MAG	Metall Active Gas	[-]
MIG	Metall Inert Gas	[-]
MKK	Mezikrystalová koroze	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molybden	[-]
N	Dusík	[-]
Nb	Niob	[-]
Ni _E	Niklový ekvivalent	[%]
NDT	Non Destructive Testing	[-]
NTD	Normativně Technická Dokumentace	[-]
O ₂	Kyslík	[-]
Obr.	Obrázek	[-]
P	Fosfor	[-]
PT	Penetrant testing	[-]
R _m	Smluvní mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
R _{p,02}	Smluvní mez kluzu materiálu v tahu	[MPa]
RT	Radiographic testing	[-]

S	Síra	[-]
Si	Křemík	[-]
Ti	Titan	[-]
Tab.	Tabulka	[-]
TIG	Tungsten Inert Gas	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
TPE	Technické dodací podmínky	[-]
V	Vanad	[-]
VT	Visual testing	[-]
VVER	Vodo – vodní energetický reaktor	[-]
W	Wolfram	[-]
WIG	Wolfram Inert Gas	[-]
WPS	Welding Procedure Specification	[-]

α	Alfa	[-]
γ	Gama	[-]
δ	Delta	[-]
σ	Sigma	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Jaderná elektrárna a svařování [2], [3]	9
Obr. 2 Martenzitická ocel [17].	10
Obr. 3 Feritická ocel [17].	10
Obr. 4 Austenitická ocel [17]	11
Obr. 5 Schaefflerův strukturní diagram Cr–Ni [6]	12
Obr. 6 De Longův diagram Cr–Ni ocelí [6], [7], [8], [9]	12
Obr. 7 Mezikrystalová koroze [5]	13
Obr. 8 Části elektrického oblouku [5]	15
Obr. 9 Popis svařování obalenou elektrodou [16]	16
Obr. 10 Elektroda pro ruční svařování [16]	16
Obr. 11 Schéma metody MIG/MAG [16]	17
Obr. 12 Popis svařování metody TIG [11]	19
Obr. 13 Wolframové elektrody [21]	22
Obr. 14 Špička elektrody [21]	22
Obr. 15 Bruska elektrod [21]	22
Obr. 16 Vliv broušení na oblouk [21]	23
Obr. 17 Souprava pro utěsnění vnitřního prostoru svaru [27]	24
Obr. 18 Souprava DN 200 mm	25
Obr. 19 Různé rozměry sad [34]	25
Obr. 20 Příprava záslepky [26]	25
Obr. 21 Instalace záslepky [26]	25
Obr. 22 Svařování trubkovnice [35]	26
Obr. 23 Svařování potrubí [35]	26
Obr. 24 Svařování horkým drátem [40]	27
Obr. 25 Posuv drátu do lázně [41]	27
Obr. 26 Svařecí tyčky [23]	29
Obr. 27 Svařecí drát [22]	29
Obr. 28 Sestava trubkového chladiče	32
Obr. 29 Návrh spoje	33
Obr. 30 Tvar spoje	33
Obr. 31 Kladení vrstev	33
Obr. 32 Svar podložného plechu	34
Obr. 33 Měření potrubí DN 400	36
Obr. 34 Měření podložného plechu	36
Obr. 35 Naměřené hodnoty chemických prvků	36
Obr. 36 Nanesený penetrant	37
Obr. 37 Nanesená vývojka	37
Obr. 38 Svařování experimentálního vzorku	38
Obr. 39 Stabilní podložka	38

Obr. 40 Svařování vrstev svaru	38
Obr. 41 Svar při VT kontrole	39
Obr. 42 Nanesený penetrant na svaru.....	39
Obr. 43 Nanesená vývojka na svaru	39
Obr. 44 Snímek z RT kontroly	40
Obr. 45 Dělení vzorků	40
Obr. 46 Tvar zkušebních těles s vrubem	41
Obr. 47 Graf z tahové zkoušky	41
Obr. 48 Nepřetržený vzorek č. 1	42
Obr. 49 Přetržený vzorek č. 2	42
Obr. 50 Foto struktury svaru	42
Obr. 51 Průvar do trvalé podložky	43
Obr. 52 Velikost TOO	43
Obr. 53 Použití svarového spoje v praxi	44

SEZNAM TABULEK

Tab.1 Označení wolframových elektrod. [11], [20]	21
Tab.2 Doporučené proudy v závislosti na průměru elektrody [21].....	23
Tab.3 Mechanické vlastnosti používaných materiálů [36].....	28
Tab.4 Chemické složení používaných materiálů. [36].	29
Tab.5 Chemické složení materiálu drátu [37].	31
Tab.6 Mechanické vlastnosti materiál drátu [37].	31
Tab.7 Přehled chemického složení použitého přídavného drátu.	34
Tab.8 Přehled mechanických vlastností použitého přídavného drátu.	34
Tab.9 Značení a čistota dodávaného argonu. [14], [25]	35
Tab.10 Mechanické vlastnosti použitého vzorku materiálu podložného kroužku.	35
Tab.11 Mechanické vlastnosti použitého vzorku materiálu hrdla DN 400 mm.	35
Tab. 12 Chemické složení použitého vzorku materiálu podložného kroužku.....	35
Tab. 13 Chemické složení použitého vzorku materiálu hrdla DN 400 mm.	36
Tab. 14 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky vzorků.....	42

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 - Návod pro instalaci
- Příloha 2 – Postup svařování hrdla DN 400
- Příloha 3 – Postup svařování podložného kroužku
- Příloha 4 – Inspekční certifikát od přídavného materiálu
- Příloha 5 – Katalogový list od svařecí tyčky
- Příloha 6 – Inspekční zpráva z ověření přídavného materiálu
- Příloha 7 – Atest materiálu podložného kroužku
- Příloha 8 – Atest materiálu hrdlo DN 400
- Příloha 9 – Protokol měření chemických prvků
- Příloha 10 – Protokol z VT kontroly svaru
- Příloha 11 – Protokol z PT kontroly svaru
- Příloha 12 – Protokol z RT kontroly svaru
- Příloha 13 - Hydraulický zkušební stroj

Příslušenství pro svařování

Aquasol® vodou rozpustný papír



Příprava těsnění

Návod
k použití

Krok 1: Příprava

Očistit plochy drátěným kartáčem.
Otřít plochy pomocí čistících ubrousků EZ Wipes™



Krok 2: Konstrukce ucpávky

Přitlačte arch papíru Aquasol® na okraj trubky tak aby se vytvořil její otisk.

Vystříhnete kruh s průměrem 1.3 krát větším než je průměr trubky.

Rozdělte na segmenty po 20 - 50 mm kolmo na otisk trubky. Nepřestříhnout přes vnitřní průměr trubky.



Krok 3: Umístění ucpávky

Nasadte ucpávku do potrubí 150 – 200 mm od kořene sváru lemem ke straně sváru.

Přilepte ucpávku lepicí páskou Aquasol®.
Opakování kroku 2:
umístění ucpávky a přilepení na druhém konci trubky.



Krok 4: Utěsnění kořenové mezery a svařování

Prekryjte kořenovou mezeru páskou EZ Zone™ Tape.
Změřte zbytkový kyslík přístrojem PRO-OX 100

Přiveďte formovací plyn a svařujte.

Vodou rozpustný papír Aquasol® je produkt společnosti Aquasol Corporation.



STANOVENÝ POSTUP SVAŘOVÁNÍ DLE EN ISO 15609



ČEZ ENERGOSERVIS
SKUPINA ČEZ

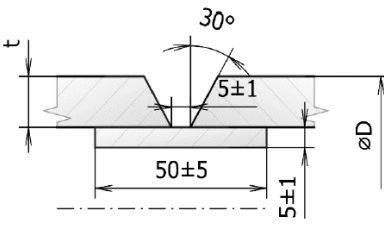
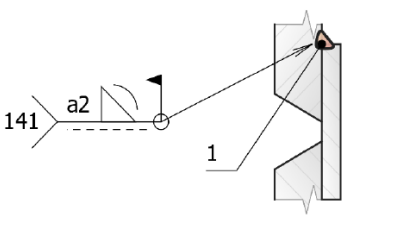
WPQR č.: 1P-952		WPS č.: 141-A-001-PO		Rev.				
Zhotovitel: ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r. o.		Adresa: Brávova tř. 1371/16, Horka-Domky, 674 01 Třebíč						
Informace o svařovaném zařízení								
Údaje o základním materiálu								
Základní materiál 1: 1.4571, 1.4541, ...	Skupina dle CEN ISO/TR 15608: 8/8.1	Průměr D1 (mm): 310-500	Tloušťka t1 (mm): 7,5-12					
Základní materiál 2:	Skupina dle CEN ISO/TR 15608:	Průměr D2 (mm):	Tloušťka t2 (mm):					
Poznámky:								
Příprava svarového spoje								
Způsob přípravy sv. spoje: Broušením, třískově	Čištění a odmaštění: Broušením a odmaštěním	Použití přípravků na sestavení spoje: Potrubářská svěrka,...						
Druh spoje: BW	Úhel otevření (°): 60	Výška otupení (mm): 0,5-1	Mezera v kořeni (mm): 0-2					
Návrh spoje dle EN ISO 9692-1		Postup svařování						
Technologické podmínky:								
Metoda/y svařování dle EN ISO 4063 (kořen/výplň): 141	Poloha sv. dle EN ISO 6947: PH, PC, H-L045	Způsob mechanizace: Ruční svařování	Způsob přenosu sv. kovu: -					
Max. šířka housenky (mm): 8	Úhel sklonu hořáku/elektrody (°): 70-80	Podložení: --	Drážkování: --					
Druh wolframové elektrody: EN ISO 6848 - WL 10 (20)	Průměr d (mm): 2,4							
Max. amplituda (mm): --	Frekvence (Hz): --	Doba prodlevy oscilace t1/t2 (s): --						
Svařovací materiály								
PM1 Ozn. dle normy: EN 12072:W19123LSi	Ozn. dle výrobce: Inertrod 316LSi	Rozměr dxl (mm): 2,4+3,2	Přesušení (°C/h)					
PM2 Ozn. dle normy:	Ozn. dle výrobce: Inertfil 19 12 3 NC	Rozměr dxl (mm):	Přesušení (°C/h)					
Tavidlo	Ozn. dle normy: --	Ozn. dle výrobce: --	Přesušení (°C/h)					
Plynová ochrana - přímá	Označení dle EN ISO 14175: Ar 99,996	Průtok (l/min): 15						
Plynová ochrana - kořenová	Označení dle EN ISO 14175: Ar 99,996	Průtok (l/min): 9						
Poznámky:								
Svařovací parametry								
Vrstva	Metoda	Rozměr přídavného materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu / Polarita	Rychlost podávání drátu (m/min)	Rychlost svařování (mm/s)	Vnesené teplo Q (kJ/mm)
1	141	2,4	66-109	12,5-12,8	DC/-		0,57-0,93	0,67 – 1,11
2	141	2,4-3,2	73-121	12-12,4	DC/-		0,74-1,22	0,55 – 0,90
3-n	141	2,4-3,2	65-108	12,4-12,8	DC/-		0,74-1,22	0,50 – 0,82
Teplotní režim								
Způsob ohřevu pro předehřev / dohřev: --		Způsob ohřevu pro tepelné zpracování: --						
Teplota předehřevu (°C)	Teplota interpass (°C)	Dohřev			Tepelné zpracování po svařování			
		Teplota (°C)	Setrvání (min.)	Prostředí	Teplota (°C)	Setrvání (min)	Rych. Ohřevu	Rych. ochl. (°C/h)
	max. 100							
Poznámky:								
Zpracoval:		Schválil za dodavatele:		Schválil za ČEZ:				
Dne:		Dne:		Dne:				



STANOVENÝ POSTUP SVAŘOVÁNÍ DLE EN ISO 15609



ČEZ ENERGOSERVIS
SKUPINA ČEZ

WPQR č.: 613P-4045				WPS č.: 141-A-002-PL				Rev.											
Zhotovitel: ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r. o.				Adresa: Brávova tř. 1371/16, Horka-Domky, 674 01 Třebíč															
Informace o svařovaném zařízení																			
Údaje o základním materiálu																			
Základní materiál 1:		1.4571, 1.4541, ...		Skupina dle CEN ISO/TR 15608:		8/8.1		Průměr D1 (mm): 310-500		Tloušťka t1 (mm): 3,75-6,25									
Základní materiál 2:		1.4571, 1.4541, ...		Skupina dle CEN ISO/TR 15608:		8/8.1		Průměr D2 (mm): 310-500		Tloušťka t2 (mm): 9-15									
Poznámky:																			
Příprava svarového spoje																			
Způsob přípravy sv. spoje:			Broušením, tržkově		Čistění a odmaštění:		Broušením a odmaštěním		Použití přípravků na sestavení spoje:		Potrubářská svěrka,...								
Druh spoje:			BW		Úhel otevření (°):		60		Výška otupení (mm):		0,5+1		Mezera v kořeni (mm): 3÷5						
Návrh spoje dle EN ISO 9692-1					Postup svařování														
																			
Technologické podmínky:																			
Metoda/y svařování dle EN ISO 4063 (kořen/výplň):			141		Poloha sv. dle EN ISO 6947:		PH, PB		Způsob mechanizace:			Ruční svařování		Způsob přenosu sv. kovu: -					
Max. šířka housenky (mm):			6		Úhel sklonu hořáku/elektrody (°):			70-80		Podložení:			--		Drážková- ní: --				
Druh wolframové elektrody:			EN ISO 6848 - WL 10 (20)		Průměr d (mm):			2,4											
Max. ampli- tuda (mm):			--		Frekvence (Hz):		--		Doba prodlevy oscilace t1/t2 (s):										
Svařovací materiály																			
PM1		Ozn. dle normy:		EN 12072:W19123LSi		Ozn. dle výrobce:		Inertrod 316LSi Inertfil 19 12 3 NC		Rozměr dxl (mm):		2		Přesušení (°C/h)					
PM2		Ozn. dle normy:		-		Ozn. dle výrobce:				Rozměr dxl (mm):				Přesušení (°C/h)					
Tavidlo				--		Ozn. dle výrobce:		--						Přesušení (°C/h)					
Plynová ochrana - přímá			Označení dle EN ISO 14175:			Ar 99,996			Průtok (l/min):			15							
Plynová ochrana - kořenová			Označení dle EN ISO 14175:						Průtok (l/min):										
Poznámky:																			
Svařovací parametry																			
Vrstva		Metoda		Rozměr přídavného materiálu (mm)		Proud (A)		Napětí (V)		Druh proudu / Polarita		Rychlost podávání drátu (m/min)		Rychlost svařování (mm/s)		Vnesené teplo Q (kJ/mm)			
1		141		2,0		130-145		13-13,5		DC/-						-			
Teplotní režim																			
Způsob ohřevu pro předehřev / dohřev:					--					Způsob ohřevu pro tepelné zpracování:					--				
Teplota předehřevu (°C)		Teplota interpass (°C)		Dohřev		Prostředí		Teplotné zpracování po svařování		Teplota (°C)		Setrvání (min)		Rych. Ohřevu		Rych. ochl. (°C/h)			
				Teplota (°C)		Setrvání (min.)													
Poznámky:																			
Zpracoval:				Schválil za dodavatele:				Schválil za ČEZ:											
Dne:				Dne:				Dne:											

AIR LIQUIDE WELDING FRANCE
13, rue d'Epluches
Saint-Ouen L'Aumône
95315 Cergy Pontoise Cedex
FRANCE

Tel: +33 1 342 13 333
Fax: +33 1 342 13 130
Internet: www.airliquidewelding.com



Inspection certificate 3.1

Customer	Order N.	Delivery note n.	Unit:
AIR LIQUIDE WELDING CENTRAL EUROPE s.r.o. Hlohovecká 6 95141 NITRA-Lužianky; SLOVAKIA	Ref, Nr of the wire: W000275417 Date: 05.04.2011	Batch of the wire: 112168052-39064 Certificate Nr W000275417_112168052-39064	KG Quantity of the wire:

Designation
INERTROD 316LSi 3.2X1000XTUB05

TÜV NORD Czech, s.r.o.
Akreditovaný inspekční orgán č. 4013
Příloha: 2 Strana: 1/1
Zak.č.: _____ Dtl: 08

Standard designation: EN ISO 14343-A : W 19 12 3-L Si
ASME Sec. II part C:SFA 5.9 -ER 316L Si

In combination with:

5 7 1 1 0 3 4 / 0 1 - - -

We confirm following properties for the welding filler metals delivered by us

Chemical analysis (%)
Certificate type EN 10204-3.1 OF THE PRODUCT

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
0,0130	1,8000	0,7900	0,0080	0,0200	12,0900	18,2200	2,5600	0,1300	0,0170

Ti	N	Co	Al	B	V				Fe
0,0100	0,0550	0,0400	-	0,0000	0,0600				6,0

Mechanical properties:
Certificate type EN 10204-2.2 – WELD METAL

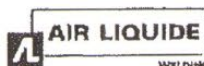
Heat treatment	Temp. °C	Yield Strength ReH (N/mm²)	Tensile Strength Rm (N/mm²)	Elongation A (%)	Impact strength (Charp – V)	
					Temp. °C	Joule
AW	20	≥ 350	≥ 610	≥ 30	+ 20	≥ 80
					-120	≥ 32

Remarks :

Eisenberg, 05.04.2011

Ralf Eschenfelder
Quality Management – Eisenberg Plant

This certificate is printed by computer and needs no signature



INERTROD 316L
Dráty TIG
Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli

INERTROD 316L je TIG drát W 19 12 3L/ER 316L produkující nízkouhlíkový svařový kov C-19Cr12Ni2.6Mo. Je určen pro svařování v ochranné atmosféře Ar.

INERTROD 316L je vhodný pro svařování nerezových ocelí 316 a 316L. Je určen pro širokou řadu aplikací včetně výroby potrubí, plechů, nádob, apod. Pro kryogenní aplikace jsou dostupné šarže s kontrolovaným nízkým obsahem feritu. Svařový kov má dobrou odolnost vůči trhlínové korozi oxidujícími kyselinami.

Normy

EN ISO 14343-A W 19 12 3L
AWS A5.9: ER 316L

Schválení**Stupeň**

DB
TÜV

•
•

CE

Chemické složení (typické hodnoty v %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0.020	1.4	0.45	≤ 0.025	≤ 0.020	19	12.5	2.6

Mechanické vlastnosti - svařový kov

Tepelné zpracování	Mez kluzu (MPa)	Mez pevnosti (MPa)	Tažnost A5 (%)	KV (J) / °C	
				+20 °C	-120 °C
Bez tepelného zprac. 100% Ar	≥ 350	≥ 510	≥ 30	≥ 130	≥ 32

Ochranný plyn – podle EN ISO 14175 : I1

Materiály

AISI 316L

1.4401 (X4CrNiMo17-12-2), 1.4435 (X2CrNiMo18-14-3)

1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2), 1.4583 (X10CrNiMoNb18-12)

Skladování

Udržujte v suchu bez přístupu vlhkosti.

Volba proudu a polohy svařování

DC-



PA PB PC PD PE PF

TIG



Český svářečský ústav s. r. o.

Divize technika

Areál VŠB - TU, 17. listopadu 2172/15; 708 33 Ostrava- Poruba

Inspekční zpráva

Strana 1 / 3

Zpráva č. : 18/2010

Výtisk č. : 1

AO: *P. Schwarz*



Druh přídavného materiálu :	Přídavný materiál pro svařování metodou 141
Obchodní označení :	INERTROD 316 L Si
Klasifikace dle :	ISO 14 343-A : W 19 12 3 L Si
Rozměr :	Ø 2,4 mm
Tavba, LOT :	112155862-35922
Výrobce :	Oerlikon Schweisstechnik GmbH – Air Liquide Welding Groups
Adresa :	Industriestrasse 12, 67304 Eisenberg / Pfalz
Předpisy / zkušební norma :	Program č. ČEZ/58/2010

Datum svařování :	08.04. - 09.04.2010
Metoda svařování :	141
Typ spoje :	Tupý na ocelové podložce
Základní materiál (ly) :	X2CrNi 18-9
Tloušťka zákl. materiálu [mm] :	20
Tavba :	268567
Vnější průměr [mm] :	-
Ochranný plyn / tavidlo :	Argon 4.6
Druh proudu :	DC/-
Poloha svařování :	PA
Přehřev :	-
Tepelné zprac. po svařování :	-
Další údaje :	Teplota interpass max. 100°C

Potvrzuje se, že zkušební svary byly uspokojivě připraveny, svařovány a zkoušeny, v souladu s podmínkami výše uvedených předpisů, respektive zkušebních norem.

OSTRAVA - PORUBA

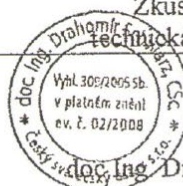
Místo

ČESKÝ SVÁŘEČSKÝ ÚSTAV

Zkušební orgán nebo
technická dozorní organizace

G. B. 2010

Datum vystavení



G. B. 2010
doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Jméno, datum a podpis



Český svářečský ústav s. r. o.

Divize technika

Areál VŠB - TU, 17. listopadu 2172/15; 708 33 Ostrava- Poruba

Strana 2 / 3

VÝSLEDKY ZKOUŠEK

NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

Kritéria pro schválení přídavných materiálů :

1. Vizuální kontrola VT : Vyhovuje
2. Kapilární zkouška PT: Vyhovuje
3. Zkouška prozářením RT: Vyhovuje

Protokol číslo : INERTROD 316 L Si/2,4/VTP/1

Protokol číslo : 75/10

Protokol číslo : 74/10

DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

1.Zkouška tahem

Prováděcí předpis : Program zkoušek – č. ČEZ/60/2010

Číslo zkuš. vzorku	Zkušební teplota	R _{p0.2} MPa	R _m MPa	A ₅ %	Z %	Poznámky
Y1		523	634	34,4	52,4	
Y2		535	642	27,2	59,0	
Poznámka	Protokol číslo : 1394B10					

Výsledek : Vyhovuje „Schvalovacímu listu přídavného materiálu INERTROD 316 L Si
č. 0248/2006/01, revize č. 2“

2.Zkouška rázem v ohybu

Prováděcí předpis : Program zkoušek – č. ČEZ/60/2010

Druh						
Číslo zkušební vzorku	Umístění vrubu	Zkušební teplota	Hodnoty KV [J]			Průměrná hodnota
Y1, Y2, Y3	VWT0/2	+20°C	159	168	155	161
Poznámka	Protokol číslo : 1394B10					

Výsledek : Vyhovuje „Schvalovacímu listu přídavného materiálu INERTROD 316 L Si
č. 0248/2006/01, revize č. 2“



Český svářečský ústav s. r. o.

Divize technika

Areál VŠB - TU, 17. listopadu 2172/15; 708 33 Ostrava- Poruba

Strana 3 / 3

3. Obsah delta-feritu svarového kovu

Prováděcí předpis : Program zkoušek – č. ČEZ/60/2010

Obsah δ-feritu: 4,9; 4,8; 4,4

Výsledek : Vyhovuje „Schvalovacímu listu přídavného materiálu INERTROD 316 L Si
č. 0248/2006/01, revize č. 2“

Protokol číslo : P/907/10

4. Kontrolní chemický rozbor svarového kovu

Prováděcí předpis : Program zkoušek – č. ČEZ/60/2010

Výsledek : Vyhovuje „Schvalovacímu listu přídavného materiálu INERTROD 316 L Si
č. 0248/2006/01, revize č. 2“

Protokol číslo : 2010/22951

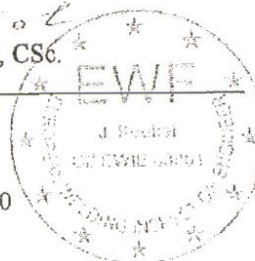
Číslo zkuš. vzorku	CHEMICKÉ SLOŽENÍ [hmot %]											
	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Ni %	Cr %	Mo %	Co %	Nb %	Cu %	V %
Y	0,01	1,77	0,74	0,020	0,009	12,1	18,2	2,5	0,026	-	-	-

ČESKÝ SVÁŘEČSKÝ ÚSTAV s.r.o.

Areál VŠB-TU, 17. listopadu 2172/15, 708 33 OSTRAVA-PORUBA

6.5.2010 prof. Ing. Jaroslav Koukal, CSc.

Jméno, datum, podpis



- PŘÍLOHA č. 1:** Program ověřovacích zkoušek č. ČEZ/58/2010
2: Inspekční certifikát č. 141/10
3: Inspekční certifikát č. 310002421-1
4: Protokol č. INERTROD 316 L Si/2,4/VTP/1
5: Protokol č. 75/10
6: Protokol č. 74/10
7: Protokol č. 1394B10
8: Protokol č. 2010/22951
9: Protokol č. P/907/10
10: Schvalovací list PM č. 0248/2006/01, revize č. 2

outokumpu 





Nr. JACQUET:

011266

INSPECTION CERTIFICATE 3.1
DIN EN 10204 3.1



Certificate No.
Zeugnis Nr.
N° du certificat
809622/001 1(01)

Date Datum Date
18.04.2018

Requirements, Anforderungen, Exigences EN 10088-4:2009 AD 2000 W2, W10 & EN 10028-7:2016 ASTM A240/A240M ASME SA-240/SA-240M II A ED. 2017		Our Order No. Unser Auftrag Nr. Notre commande n° 300475795		Your order, Ihre Bestellung, Votre commande 87010045								
Product, Erzeugnisform, Produit SHEET, STAINLESS STEEL		Mark of Manufacturer Zeichen des Lieferwerkes Signe de producteur outokumpu		Process Erschmelzungsart Mode de fusion AOD								
Grade, Werkstoff, Nuance 1.4571 TYPE 316TI		Tolerances Toleranzen, Tolérances EN ISO 9445-2										
Marking, Kennzeichnung, Marquage 1.4571 2B		Marks, Versandzeichen, Marques										
Line Reihe Ligne	Item Position Poste	Charge-test No. Schmelze-Probe Nr. Coulée n°	Size, Abmessungen, Dimensions	Quantity Stückzahl Nombre	Weight, Gewicht, Poids	Finish Ausführung Fini EN/ASTM	 14 0045-CPR-0567					
1	4	72673 G	5,0 X 1000 X 2000 MM	11	876 KG	2B						
Charge no. Schmelze Nr. Coulée n°		Chemical composition, Chemische Zusammensetzung, Composition chimiques										
		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Ti %	N %	Al %
72673		0,030	0,46	1,41	0,033	<.001	16,9	10,6	2,05	0,33	0,014	0,025
Line Reihe Ligne	Mechanical properties, Mechanische Eigenschaften, Caractéristiques mécaniques							Tensile test, Zugversuch, Essai de traction				
	Sample ID Proben ID Échantillon	Rp0.2 MPa	Rp1.0 MPa	Rm MPa	A5 %	A50 %	%	Hardness Härte, Duralé HBW				
1	01	329	360	597	51	50		186	ISO 6892-1:2009 A224 SAMPLES PERPENDICULAR TO THE ROLLING DIRECTION			
	02	330	364	596	51	49		187				
APPROVED ACC. TO AD2000-W0 WITH VERIFICATION OF THE UNIFORMITY OVER THE STRIP LENGTH. CERTIFIED ACC. TO PED 2014/68/EU BY TÜV NORD REG. NO. 0045. DOCS ACC. TO CPR AVAILABLE ON THE WEB PAGE BY STEEL NUMBER												
Identity test, Verwechslungsprüfung, Contrôle d'identification Size, Abmessungen, Dimensions Surface, Oberfläche, Surface Test of intergran. corros. Prüfung auf Interkrist. Korros. Test de corros. Interkrist. EN ISO 3651-2 A: OK								OK OK OK				
EN 10088-2:2014/1.4571 HEAT TREATMENT 1070 C BEND TEST OK PRODUCT MELTED IN SHEFFIELD, UK								We certify that the above mentioned products comply with the terms of the order contract. Wir bestätigen, dass die Lieferung den Vereinbarungen der Bestellannahme entspricht. Nous certifions que les produits énumérés ci-dessus sont conformes aux prescriptions de la commande.				
 ŠABATA LIBOR VSTUPNÍ KONTROLA 23. 02. 2018 ze dne MICO, spol. s r.o. technická kontrola								This test certificate is made by controlled ADP-system and is valid without signature. Dieses Zeugnis wurde von einem überprüften Datenver- arbeitungssystem erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Ce certificat a été établi par un système informatique contrôlé et est valide sans signature.				
								Outokumpu Stainless Oy  NANNA RIIKKULA Authorized inspector Werkstoffverständlicher Inspecteur autorisé FI-95490 Tornio, Finland Tel. +358 16 4521, email certificate.tornio@outokumpu.com, www.outokumpu.com Domicile: Tornio, Finland. Business Identity Code 0823315-9				

CERTIFICATE - ZEUGNIS - CERTIFICAT		Page Seite	1(2)
EN 10 204-3.1			
Date - Datum	Load - Ladung - Charge No	Cert No - Zeugnis Nr	
170921	1045	7097342.R00	

Your order - Ihre Bestellung - Votre commande	Outokumpu Order - Auftrag - Ordre	Pack - Kolli - Colis No
170479/6224	700327	0
Purchaser - Besteller - Acheteur		
MICO Spol.s.r.o	Requirements - Anforderungen - Exigences	
Sucheniová 270/6	PED 2014/68/EU / EN 10028-7:2016	
CZ-67401 TREBIC JIHOMORAVSKY	EN ISO 18286-A	
TJECKIEN	EN ISO 18286-N	
Dest	Co = < 0,08%	
By e-Services/By Mail/With Material	IG-C testing acc. to EN-ISO 3651-2 Method A	
Product - Erzeugnisform - Produit		
Stainless steel plate, hot rolled		
Solution annealed, pickled/ID		
Grade - Werkstoff - Nuance	*	
17-11-2Ti		
1.4571		

Brand-Mark Herstellerzeichen Signe du Producteur		Inspectors stamp Abnahme - Stempel Estamp de l'expert		Melting process Erschmelzungsart Procédé de fusion	E+AOD	
Marking - Kennzeichnung - Marquage						
Plate No, Dimension, Heat No, Lot No, Incl. *						
Extent of delivery - Lieferumfang - Etendue de livraison						
Item Pos	Pcs Anzahl Nombre	Kg	Dimension mm	Abmessung	Heat No Schmelze Nr Coulée	Lot No Los Nr Lot No
3	18		12 * 1500 * 3000		171287	334889
Plate No 5721 2404-1,-2,-3,-4,-5,-6, 2405-1,-2,-3,-4,-5,-6, 2406-1,-2,-3,-4,-5,-6						
Blech Nr						
Tôle No						

Chemical composition - Chemische Zusammensetzung - Composition chimique%											
Heat - Semelze - Coulée No											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Co	
Min	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	16.50	10.50	2.00	0.15	0.00	
Max	0.08	1.00	2.00	0.045	0.015	18.50	13.50	2.50	0.70	0.08	
171287	0.03	0.68	1.18	0.017	0.001	17.02	10.61	2.07	0.26	0.03	

Test results - Prüfergebnisse - Résultats des essais (1N/mm² = 1 MPa)											
Mechanical Properties						Direc T = Transverse L = Longitudinal Top/Bot F = Front B = Back Form P = Flat C = Round Location 1 = Center 2 = Close to Surface 3 = Standard 4 = At 1/4 of thickness					
Tensile testing											
Plate-NoDirec. Top/BotLocation Form Temp. Rp 0,2 Rp 1,0 Rm A5											
C N/mm2 N/mm2 N/mm2 %											
Min 220 260 520 40											
Max 670											
2406	T	F	3	P	20	247	280	566	63		
Corrosion											
2406 IC-Test acc. to EN ISO 3651-2 Method A : Approved											

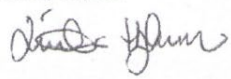
ŠABATA LIBOR

VSTUPNÍ KONTROLA

ze dne 24.10.2017

MICO, spol. s r.o.

technická kontrola

Outokumpu Stainless AB Business Area Quarto Plate Quarto Plate Europe SE-693 81 Degerfors, Sweden Tel. +46 586 470 00, Fax +46 586 470 16, www.outokumpu.com Registered office: Stockholm, Sweden Reg. No. 556001-8748, Vat No. SE556001874801	Computer generated original Quality Inspector  Linda Hjalmarsson
--	--

CERTIFICATE - ZEUGNIS - CERTIFICAT			Page Seite	2(2)
EN 10 204-3.1				
Date - Datum	Load - Ladung - Charge No	Cert No - Zeugnis Nr		
170921	1045	7097342.R00		

**Other Information**

Heat treated at 1100°C and Quenched in water.
Dimensional control, visual inspection and grade check (PMI) : Approved
Certified acc. to AD2000-Guideline W0 and
Pressure Equipment Directive (2014/68/EU)
annex 1, sec. 4.3 by the notified body for
pressure equipment of the TÜV NORD Systems
notified body, reg.-no. 0045

ŠABATA LIBOR

VSTUPNÍ KONTROLA

ze dne0.4...10...2017

MiCo, spol. s r.o.
technická kontrola

Outokumpu Stainless AB
Business Area Quarto Plate
Quarto Plate Europe
SE-693 81 Degerfors, Sweden
Tel. +46 586 470 00, Fax +46 586 470 16, www.outokumpu.com
Registered office: Stockholm, Sweden.
Reg. No. 556001-8748, Vat No. SE556001874801

Computer generated original
Quality Inspector

Linda Hjalmarsson



Metoda : alloyPlus
Denní ID : 4
Čas : 2019-03-18 10:20:34

Složení

Zaměřovací kamera

1.4571 GOST 977 15Ch18Ni10G2S2M2TL 316

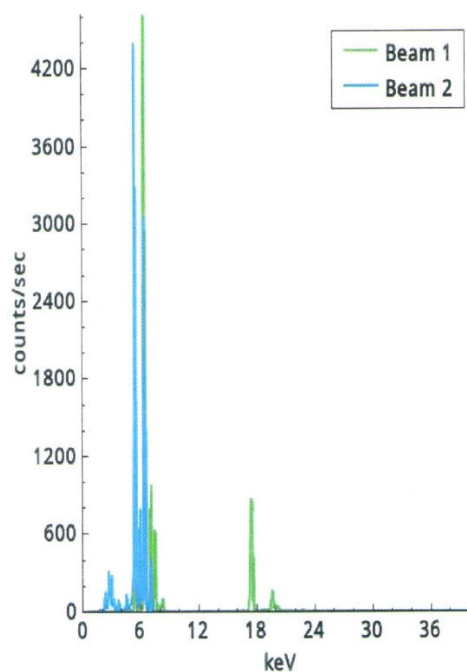
1.4571

Přesný - X6CrNiMoTi17-12-2 [316Ti]

El	%	+/-	1.4571
Al	0.220	0.039	Resd. 0.5
Si	0.667	0.017	0.00 1.00
P	ND	<0.008	0.00 0.05
S	ND	<0.016	0.00 0.01
Ti	0.334	0.013	0.10 0.70
V	0.106	0.007	Resd. 0.2
Cr	16.674	0.044	16.50 16.50
Mn	1.358	0.027	0.00 2.00
Fe	66.867	0.071	61.00 70.00
Co	0.239	0.028	Resd. 0.6
Ni	10.718	0.047	10.50 13.50
Cu	0.619	0.014	0.00 0.90
Zn	0.030	0.003	Resd. 0.1
Nb	0.0200	0.0009	Resd. 0.1
Mo	2.075	0.007	2.00 2.50
W	0.073	0.009	Resd. 0.3
El	%	+/- 3σ	1.4571
Mg	ND	<0.47	
Zr	ND	<0.002	
Pd	ND	<0.017	
Ag	ND	<0.019	
Cd	ND	<0.022	
Sn	ND	<0.034	
Sb	ND	<0.049	
Hf	ND	<0.015	
Ta	ND	<0.010	
Re	ND	<0.010	
Pt	ND	<0.008	
Au	ND	<0.011	
Pb	ND	<0.009	
Bi	ND	<0.011	



Spektrum



Poznámky

Poznámka:

Vzorek:

Zákazník:

ZKOUŠKA VIZUÁLNÍ PŘÍMÁ

PROTOKOL č. J 02.19.V.01140

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:	Projopovací svarový spoj mezi horní a spodní částí chladiče
Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo:	2TG17W01 \ — \ — \ —
Zkoušená část:	Svar+TOZ
Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží:	2 \ HVB 1 \ A 002/2 \ —
Požadavky na jakost:	IIB dle PK1514-72
Závazné předpisy a vyhlášky:	BT 3 - kritičnost 1, vyhl. č. 329/2017 Sb., vyhl. č. 358/2016 Sb., §12 odstavec (2)
Číslo zakázky:	7129
Význam kontroly:	Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:	27.3.2019 až 28.3.2019
Číslo pracovního příkazu:	32370241/05
Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky:	VT-19-JE-0002, ČEZ-18-VT-001, ČEZ_ME_1090, ČSN EN ISO 17637, PKZ č.: 5105/18/116r.01 p.č. 7.3 \ PK1514-72, VT-19-JE-0002
Rozsah zkoušky \ z povrchů:	100% \ Vnější povrch svaru + vnitřní povrch svaru z jedné strany + TOZ
Stav povrchu při zkoušce:	Kovově čistý
Technika zkoušení:	Přímá
Druh osvětlení:	Umělé
Intenzita osvětlení zkušebního povrchu:	1000 lx

Zařízení a prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do:	Luxmetr \ LX-1102 \ R.013795 \ 11/2019
	Posuvné měřidlo \ 0÷150mm \ P053 \ 10/2019
	Svinovací metr \ 0÷2000mm \ 22-100 \ 10/2020
	Měrka svárů s noniem \ WG-3 \ SN 859 \ 10/2020
	LED svítidla \ LIGHT S1LC \ DI0035 \ —
	Lupa \ Z=5 \ — \ —
	Zrcátko \ — \ — \ —

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářeč	Typ svaru	Základní materiál	Rozměr svaru [mm]	Kat.svar. spoje Stupeň jakosti	Ref. číslo vady ISO 6520-I \ Popis	Vzdál. od počátku [mm]	Rozměr vady [mm]	Mezní rozměr [mm]
S468/19/18	S468	BW	1.4571	406x17	IIB	\			

Zkušební vzorek, svar s podložkou 5mm - technologický neprůvar svaru podložky.

Celkový výsledek zkoušky:

VYHOVUJE

Zkoušeli:	Rudolf Haltuf / D181023/11, 3197-CERT-NDT-0456-16
Hodnotil:	Ondřej Růžička / D181023/01, 3197-CERT-NDT-0604-17
Rozdělovník:	90E0DU290, 90E0DU240, ČEZ Energioservis
Počet příloh:	přílohy nejsou

VEDU



ZKOUŠKA KAPILÁRNÍ**PROTOKOL č. J 02.19.P.00379****Identifikace zkoušeného objektu:**

Název: Projopovací svarový spoj mezi horní a spodní částí chladiče
 Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo: 2TG17W01 \ — \ — \ —
 Zkoušená část: Svar+TOZ
 Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží: 2 \ HVB 1 \ A 002/2 \ —
 Požadavky na jakost: IIB dle PK1514-72
 Závazné předpisy a vyhlášky: vyhl. č. 329/2017 Sb., vyhl. č. 358/2016 Sb., vyhl. č. 358/2016 Sb., §12 odstavec (2), BT 3 - kritičnost 1
 Číslo zakázky: 7129
 Význam kontroly: Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: 27.3.2019 až 28.3.2019
 Číslo pracovního příkazu: 32370241/05
 Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky: PT-19-JE-0002, ČEZ-18-PT-001, ČEZ_ME_1090, ČSN EN ISO 3452-1, PKZ č.: 5105/18/116r.01 p.č. 7.4 \ PK1514-72, PT-19-JE-0002
 Rozsah zkoušky \ z povrchů: 100% \ Vnější povrch svaru + vnitřní povrch svaru z jedné strany + TOZ
 Stav povrchu při zkoušce: Kovově čistý
 Teplota zkoušené části: 22°C
 Kapilární systém: ISO 3452-2 -II C e / stupeň 2
 Čas: penetrace \ vyvíjení \ ukončení hodnocení 20 min / 20 min / 20 min. po zaschnutí vývojky
 Způsob aplikace: penetrant \ vývojka Nástřik / Nástřik
 Technika odstranění přebytku penetrantu: Opakovaný otěr technickými utěrkami
 Druh osvětlení: Umělé
 Intenzita osvětlení zkušebního povrchu: 1000lx

Prostředky pro zkoušku:

Výrobce \ Značka \ Číslo šarže \ Expirace
 Penetrant: HELLING, Nord Test \ U88 \ 34055 \ 06/22
 Čistič: HELLING, Nord Test \ U87 \ R33187 \ 01/22
 Vývojka: HELLING, Nord Test \ U89 \ R32634 \ 05/21

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do:
 Luxmetr \ LX-1102 \ R.013795 \ 11/2019
 Teploměr \ Scantemp PRO 450 \ 31010196-2 \ 07/2020
 Posuvné měřidlo \ 0÷150mm \ P053 \ 10/2019
 Svinovací metr \ 0÷2000mm \ 22-100 \ 10/2020
 LED svítidla \ — \ — \ —
 Lupa \ Z=5 \ — \ —

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářeč	Typ svaru	Základní materiál	Rozměr svaru [mm]	Kat.sv. spoje PK 1514-72	Ref. číslo vady ISO 6520-1 \ Popis	Vzdál. od počátku [mm]	Rozměr vady [mm]	Mezní rozměr [mm]
S468/19/18	S468	BW	1.4571	406x17	IIB	\			

Zkušební vzorek, svar s podložkou 5mm - technologický neprůvrat svaru podložky.

Celkový výsledek zkoušky:**vyhovuje**

Zkoušeli: Rudolf Haltuf / D181023/11
 Ondřej Růžička / 101-03005, D181023/01
 Hodnotil: Ondřej Růžička / 101-03005, D181023/01
 Rozdělovník: 90E0DU290, 90E0DU240, ČEZ Energosservis
 Počet příloh: přílohy nejsou



ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 02.19.R.00444

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:	Projopovací svarový spoj mezi horní a spodní části chladiče
Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo:	2TG17W01 \ — \ — \ —
Zkoušená část:	Svar+TOZ
Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží:	2 \ HVB 1 \ A 002/2 \ —
Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]:	1.4571 \ 406x17
Požadavky na jakost:	IIB dle PK 1514-72
Závazné předpisy a vyhlášky:	BT 3 - kritičnost 1, vyhl. č. 329/2017 Sb., vyhl. č. 358/2016 Sb., §12 odstavec (2)
Číslo zakázky:	7129
Význam kontroly:	Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:	27.3.2019 až 28.3.2019
Číslo pracovního příkazu:	32370241/05
Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky:	ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090, ČEZ-18-RT-001, RT-19-JE-0001 v aktuálním znění, PKZ č.: 5105/18/116r.01 p.č. 7.5 \ PK 1514-72, TPE 10-40/1771/2014-JE
Rozsah zkoušky:	100%
Stav povrchu při zkoušce:	kovově čistý
Třída použité radiografické techniky \ podle:	B \ ČSN EN ISO 17636-1
Jakost radiogramů \ umístění měřky jakosti:	W13 / 10 FEEN \ Na straně filmu
Způsob použitého označení:	Pb metr, Pb značky
Způsob snímkování a uspořádání zkoušky:	ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.5 obr.8 -Zářič umístěný excentricky s filmem na vnější straně. Uspořádání zkoušky k prozařování přes jednu stěnu zakřivených objektů
Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba:	410 mm \ 6min
Parametry záření \ druh filtru	Se75 (100 Ci) 3x3mm \ ----
Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie	AGFA D4 \ 10 x 48 cm \ Pb, 0,027 mm
Způsob zpracování \ chemikálie	automat \ AGFA vývojka a ustalovač

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Exertus \ RID-SE4P \ 1327 \ —

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Densitometr \ EASY DENS NDT \ 0366 \ 04/2020
Negatioskop \ FV 2010 \ 102136 \ 11/2019

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářeč	Typ svaru	Kat.svar.spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vadý ISO 6520-1 [velikost vadý v mm]	Dílčí hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S468/19/18	S468	BW	IIB	0-300	2,5 \ W13	514	X	
				300-600	2,6 \ W13	514	X	

Zkušební vzorek, svar s podložkou 5mm - na radiogramech vyobrazen technologický neprůvar svaru podložky. Způsob prozařování viz. fotodokumentace



Celkový výsledek zkoušky:

VYHOVUJE

Zkoušeli:	Rudolf Haltuf / D181023/11, 3197-CERT-NDT-0456-16 Ondřej Růžička / D181023/01, 3197-CERT-NDT-0604-17	V EDU
Hodnotil:	Rudolf Haltuf / D181023/11, 3197-CERT-NDT-0456-16	
Rozdělovník:	90E0DU290, 90E0DU240, ČEZ Energioservis	
Počet příloh:	přílohy nejsou	



Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

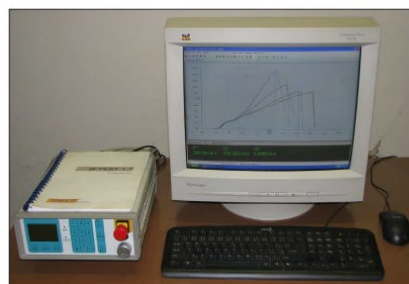
Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčniku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci univerzálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60